

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektroniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektroniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Laboratorní úloha měření BERA

Laboratory Task of Measurements of BERA

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Vojtěch Hochman**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Laboratorní úloha měření BERA**
Laboratory Task of Measurements of BERA

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce bude popsat a provést měření sluchové dráhy pomocí kmenových evokovaných potenciálů.

1. Teoretická část bude zaměřena na anatomii a fyziologii sluchového ústrojí a možnosti vyšetření sluchu.
2. V praktické části bude prováděno měření pomocí evokovaných sluchových kmenových potenciálů.
3. Výsledky budou prezentovány v grafech a tabulkách
4. V závěru bude provedeno zhodnocení výsledků práce i přínos, který její řešení znamenalo pro autora BP.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ČIHÁK, R. *Anatomie* 3. 2. vyd. Praha: Grada publishing, 2002. 673 s. ISBN 80-7169-140-2.
2. LEJSKA, M., a kol. *Základy praktické audiologie a audiometrie*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1994. 171 s. ISBN 80-7013-178-0.
3. MRÁZKOVÁ, E. *Základy audiologie a metod objektivního vyšetření sluchu*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. 111 s. ISBN 80-248-1123-4.
5. SYKA, J., L. VOLDŘICH, L. a F. VRABEC. *Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu*. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1981. 324 s.
6. UCHYTIL, Bořivoj. *Vyšetřovací metody a základní diagnostika v otorinolaryngologii*. 1. vydání. Praha : Triton, 2002. 254 s. ISBN 80-7254-190-0.
7. HYBÁŠEK, Ivan. *Ušní, nosní a krční lékařství*. 1. vydání. Praha : Galén, 1999. 220 s. ISBN 80-7262-017-7.
8. Dokumentace firmy Reachinformation. Dostupné z:
http://www.reachinformation.com/define/Auditory_brainstem_response.aspx.
9. Dokumentace firmy Interacoustics. Dostupné z:
http://www.interacoustics.co.uk/com-uk_en/Pages/Product/Abr/EvokedPotentials.htm?prodid=61391.
10. Dokumentace firmy AudioNIKA. Dostupná z:
<http://www.audionika.cz/page/get/o-sluchu-a-sluchovych-vadach>.
11. Manuál k přístroji (OM Eclipse).

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

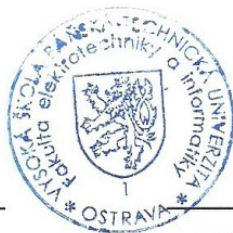
Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Jindřich Černohorský, CSc.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

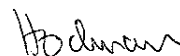
Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum odevzdání bakalářské práce: 4.5.2012

Vojtěch Hochman



Poděkování

Tímto bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. RNDr. Jindřichu Černohorskému, CSc. za cenné rady, konzultace a připomínky spojené s vypracováním mého zadání.

Také bych chtěl poděkovat odbornému personálu Centra pro poruchy sluchu a rovnováhy polikliniky APROMED, který poskytl technické vybavení a dohlížel na průběh realizace této práce.

Abstrakt

Kmenové sluchové evokované potenciály (Brainstem Auditory Evoked Potentials) jsou odpovědi na podráždění vláskových buněk vnitřního ucha zdrojem stimulu. Podnětem podráždění je v případě evokovaných potenciálů zvuk. Ten se transformuje na elektrický potenciál, jehož vznik je metodou BERA (BAEP) zaznamenáván v místě od sluchového nervu až do kmene mozku. Jedná se tedy o evokované potenciály s krátkou latencí (Short Latency Responses - SLR), vyskytují se mezi 0 - 10 ms po stimulaci. Odpovědi vyvolané stimuly jsou detekovány pomocí elektrod umístěných na povrchu lebky. Napěťová úroveň vzniklého evokovaného potenciálu je velice malá, proto je zapotřebí tento signál zesilovat a průměrovat pomocí počítačové techniky, aby bylo možné dosáhnout hodnotitelných výsledků. Tato práce je zaměřena na popis těchto potenciálů a návod k jejich vyšetření metodou BERA.

Klíčová slova

Zvuk, BERA, evokovaný potenciál, kmen mozku, vyšetření, přijaté odpovědi

Abstract

Brainstem auditory evoked potentials are responses to irritations of the inner ear hair cells by the source of stimuli. In case of evoked potentials, a sound is an impulse of irritation. It is transformed into an electrical potential and its formation is recorded by the BERA method from auditory nerve to brainstem. They are evoked potentials with short latency (Short Latency Responses - SLR) and occur between 0 - 10 ms after stimulation. Responses induced by stimuli are detected by electrodes placed on the surface of the skull. Voltage level of generated evoked potential is very small, therefore it is necessary to amplify and average the signal using computer techniques to achieve evaluable results. This bachelor thesis is focused on the description of these potentials and instructions for their examination by BERA.

Key words

Sound, BERA, evoked potential, brainstem, examination, accepted responses

Seznam použitých symbolů a zkratek

ABR	Auditory Brainstem Response
BAEP	Brainstem Auditory Evoked Potential
BERA	Brainstem Evoked Response Activity
CERA	Cortical Evoked Response Activity
ECochG	Elektrokochleografie
EEG	Elektroencefalografie
EKG	Elektrokardiografie
EMG	Elektromyografie
EP	Evokované potenciály
IT	Izolační transformátor
LLL	Long Latency Responses
MLR	Middle Latency Responses
OAE	Otoakustické emise
SLR	Short Latency Responses
SPL	Sound Pressure Level
VEMP	Vestibular Evoked Myogenic Potentials
nHL	Normal Hearing Level

Obsah

1. Úvod.....	2
2. Teoretická část	3
2.1. Sluchové ústrojí.....	3
2.1.1. Anatomie ucha	3
2.1.2. Fyziologie ucha	5
2.1.2.1. Přívod zvuku	5
2.1.2.2. Podráždění sluchových buněk.....	6
2.1.2.3. Transformace zvuku na nervový impuls	6
2.1.2.4. Vedení impulsu do sluchového centra v mozku.....	6
2.1.2.5. Zpracování nervového vzruchu ve sluchovém centru	7
2.1.3. Vyšetření sluchu.....	7
2.1.3.1. Vyšetření sluchu subjektivními metodami	7
2.1.3.2. Vyšetření sluchu objektivními metodami.....	9
2.1.4. Evokované potenciály	12
3. Praktická část	15
3.1. Popis přístroje a technické specifikace.....	15
3.1.1. Příprava před vyšetřováním	20
3.1.2. Průběh vyšetření a vyhodnocení	24
3.1.2.1. Vyhodnocení zdravého pacienta	27
3.1.2.2. Vyhodnocení patologického pacienta	30
4. Závěr	33
5. Seznam literatury	34
6. Přílohy	36

1. Úvod

"Ticho je nekrásnější zvuk", mohou si říkat lidé v dnešním uspěchaném světě plném troubících aut a neustále vyzvánějících telefonů. Avšak žít celý život v tichu si člověk ani nedokáže představit. Sluch je jeden ze základních nepostradatelných smyslů, bez kterého člověk není schopen plnohodnotně žít. Aby se zamezilo poruchám sluchu a pomohlo se objasnit jejich příčinu, je zapotřebí kvalitní lékařské péče, která dokáže vyšetřit a posoudit, o jakou poruchu se jedná, následně ji poté léčit, zmírňovat.

V minulosti byl lékař odkázán pouze na subjektivní vyšetřovací metody, při kterých musel pacient spolupracovat s vyšetřujícím. Zde pak záleželo na každém pacientovi, jak bude nebo nebude spolupracovat. S rozvojem lékařské techniky vznikají nové a nové metody pomáhající lékařům stanovit, vyhodnotit přesněji diagnózy, a to i bez spolupráce s vyšetřovaným pacientem - pomocí objektivních vyšetřovacích metod.

Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické.

Teoretická část obsahuje informace týkající se anatomie a fyziologie sluchového aparátu. Popisuje také možnosti vyšetření sluchu, jejich metody a jednotlivé principy.

Praktická část je zaměřena na popis přístroje, jeho technické parametry, na přípravu pacientů před vyšetřením, průběh a vyhodnocení vyšetření s odpovídajícími daty. Součástí praktické části je také vypracování návodu k laboratornímu cvičení.

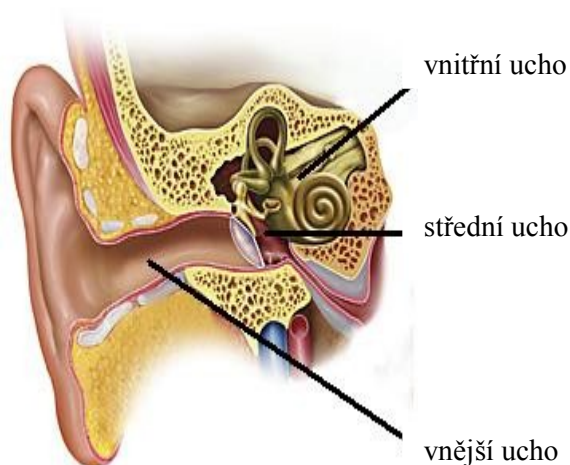
2. Teoretická část

2.1. Sluchové ústrojí

2.1.1. Anatomie ucha

Orgán zajišťující vnímání zvuku je ucho (*auris*). Umožňuje nám vnímat prostředí, napomáhá ke slyšení a porozumění akustickým vlivům působícím na organismus. Lidské ucho dokáže rozlišit zvukové vlny v rozsahu 16 - 20 000 Hz a je schopno rozpoznat až 400 000 druhů zvuků. Z anatomického hlediska ho můžeme rozdělit na dvě části: část periferní a část centrální.

Periferní část se skládá z vnějšího ucha, středního a nakonec z ucha vnitřního.



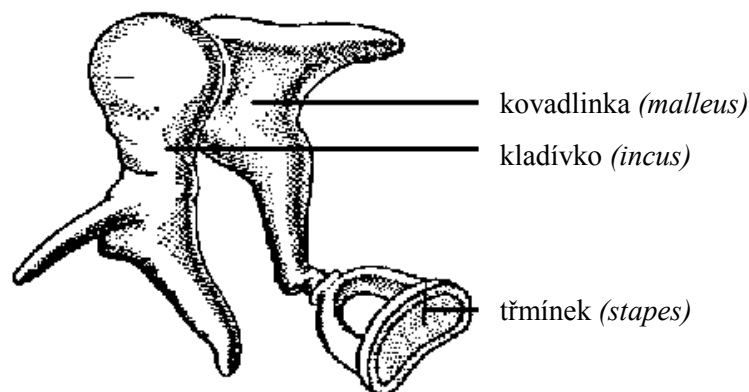
Obr. 1: Anatomie ucha [6]

S pomocí vnějšího ucha (*auris externa*) se zachycují a shromažďují zvukové vlny. Pro představu vnější ucho napodobuje funkci přijímače. Součástí vnějšího ucha je:

Ušní boltec (*auricula*), což je pružná chrupavka pokrytá kůží (bez tuku). Její dolní okraj tvoří lalůček.

Vnější zvukovod (*meatus acusticus externus*), mírně zakřivená chrupavčito-kostěná trubice dlouhá přibližně 2 - 3 cm. Kůže na chrupavčité části obsahuje tukové a mazové žlázy. Vnější zvukovod je zakončen bubínkem, který je zároveň hranicí vnějšího a středního ucha.

Na ucho vnější navazuje ucho střední (*auris media*). Opět pro představu, jedná se o zesilovač, který zesiluje zvuky přichozí z vnějšího prostředí. To se skládá z bubínku (*membrana tympani*), což je tenká (0,1 mm) pružná blanka. Dále pak patří do středního ucha soustava dutinek ve spánkové kosti a středoušní kůstky (kladívko, kovádlínka, třmínek). Jako nejmenší kosti v těle mají na starost přenos energie z blanky bubínku na plochu oválného okénka = 30násobné zvětšení síly kmitu.

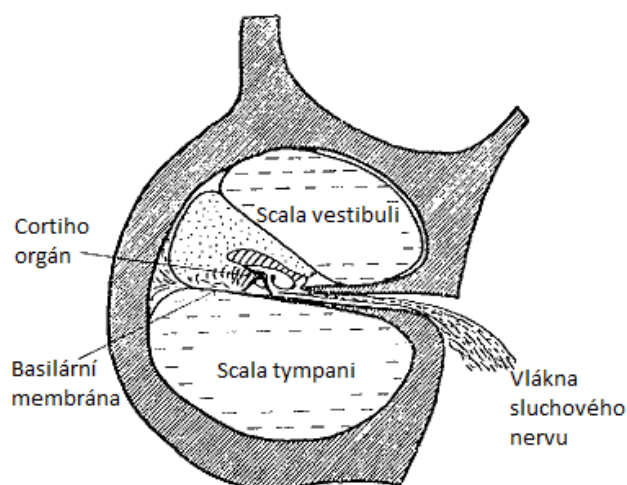


Obr. 2: Středoušní kůstky [2]

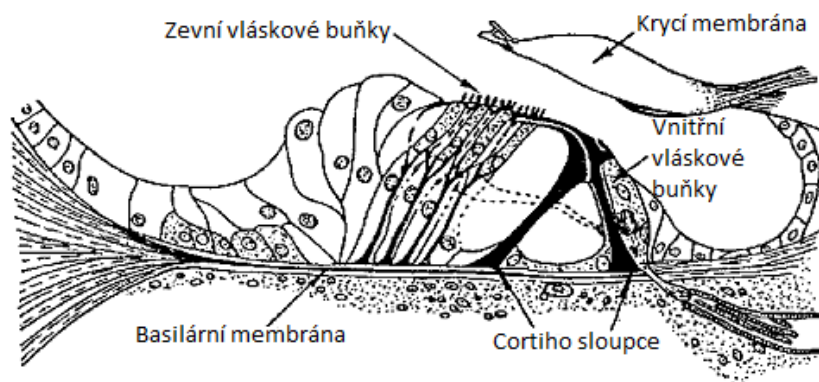
Ke střednímu uchu také patří Eustachova trubice dlouhá 3 - 3,5 cm, která spojuje dutinu bubínkovou s nosohltanem. Má za úkol zavzdušňovat středouší a vyrovnávat tlakové výchylky, které mohou nastávat.

Poslední oddíl periferní části je ucho vnitřní (*auris interna*), které slouží jako vysílač signálu (zvukových vln). Jeho struktura je komplikovaná, vcelku nazývaná labyrintem. Je uloženo v dutinách kosti skalní jako kostěný labyrint. Ten chrání labyrint blanitý. Labyrint se dělí na tři části:

- předsíň (*vestibulum*), vstup do labyrintu středního ucha
- polokruhové chodbičky (*canales semicirculares*) obsahující buňky, které reagují na rovnováhu lidského těla
- hlemýžď (*cochlea*), okraj vyplněn perilymfou, střed endolymfou. Tvoří 2,5 závitů a jeho velikost je cca (3 - 3,5 cm). Obsahuje vlastní sluchový orgán - Cortiho orgán - tři řady vnějších a jedna řada vnitřních vláskových buněk.



Obr. 3: Řez kostěným a blanitým labyrintem [2]



Obr. 4: Cortiho orgán [2]

Centrální část sluchového orgánu obsahuje sluchové dráhy a sluchové centrum. Ve sluchových drahách se dále nachází sluchový nerv (*nervus vestibulocochlearis*), který spojuje všechna dostředivá nervová vlákna vycházející ze smyslových buněk labyrintu. Součástí sluchových drah je také kmen mozkový, v jehož jádrech se kříží a spojují nervová vlákna obou uší. Nervový impuls dále pokračuje přes mezimozek.

Sluchové centrum se nachází v mozkové kůře uloženo na spánkovém laloku dominantní hemisféry. Je nazýváno tzv. Heschlův závit. [1][2][4][5][7][10]

2.1.2. Fyziologie ucha

Přenos zvuku je velmi náročný a složitý proces skládající se z mnoha stupňů. Mezi základní stupně patří :

- a) transport (přívod) zvuku ke sluchovým buňkám
- b) podráždění sluchových buněk
- c) transformace (přeměna) zvuku na nervový impuls
- d) vedení impulsu do sluchového centra v mozku
- e) zpracování nervového vzruchu ve sluchovém centru

2.1.2.1. Přívod zvuku

K přívodu zvuku (zvukových vln) do sluchového orgánu napomáhá ušní boltce, jehož zakřivení a natočení je k tomu fyziologicky uzpůsobeno. Bez boltce se však dá normálně slyšet, jeho absence nezpůsobí žádné komplikace ve vnímání zvuku. Vlny dále pokračují přes zvukovod vnějšího ucha až k membráně bubínku. Trychtýřovité zakřivení zvukovodu zajišťuje dokonalý přenos zvuků, jeho flexibilita navíc slouží k ochraně před vnějším prostředím společně s chloupky a mazovými žlázami. Přenos zvukových vln zvukovodem vytváří tlakovou zvukovou vlnu, která naráží na blanku bubínku, rozechvívá ji a protlačuje ji do prostoru středního ucha. Tato membrána je velice citlivá na změnu tlaku, její tloušťka se pohybuje okolo 0,1 mm. Bubínek musí být elastický a celistvý a na jeho vnější i vnitřní plochu

musí působit přibližně stejný tlak. K udržení konstantního tlaku před a za membránou bubínku pomáhá Eustachova trubice, která přivádí vzduch do středouší. Zároveň má také funkci, že odvádí možné výpotky tvořící se ve středouší. Kmity membrány jsou dále přenášeny na systém středoušních kůstek (*malleus, incus, stapes*) bubínkovou dutinou. Díky pákovému spojení těchto kůstek nedochází téměř k žádným ztrátám energie. Třmínek rozechvěje perilymfu a následně i endolymfu přes membránu oválného okénka. Blanitý hlemýžď je uzavřená trubice tvarem připomínající ulitu, která je stočená do 2,5 závitu, je vyplněn endolymfou a rozděluje kostěný hlemýžď na dvě poloviny (patra), které se spojují ve vrcholu hlemýžďe. V jeho útrokách se nachází vlastní receptory zvuku.

2.1.2.2. Podráždění sluchových buněk

K podráždění sluchových (Cortiho) buněk dochází tak, že kmity endolymfy rozpohybují basilární membránu, která je ve spojení s výběžky sluchových buněk od spodní části hlemýžďe po jeho vrchol. Protože kmity endolymfy jdou jeden po druhém ve stejném směru, je nutné tento problém kompenzovat, aby nedošlo k jejich vyrušení. K tomu slouží membrána kulatého okénka, která tyto kmity pohlcuje v bubínkové dutině středního ucha (vyklenuje se do bubínkové dutiny středního ucha). Poté záleží, jakou velikost bude mít kmitočet, který rozechvěje membránu hlemýžďe. Jelikož se membrána od báze hlemýžďe po jeho vrchol rozšiřuje, rozkmitají vysoké frekvence (vysoké tóny) spodní část a nízké frekvence (hluboké tóny) horní část hlemýžďe. V místě, kde dochází ke kontaktu membrány s buňkami, vznikne nervový impuls, který se šíří dále do sluchového nervu.

2.1.2.3. Transformace zvuku na nervový impuls

Nervový impuls (vzruch), tedy přeměna akustické energie na biopotenciál pomocí Cortiho buněk, je výsadní činnost pouze pro buňky středního ucha. To, jak bude velká hodnota potenciálu, ovlivní výška tónů, která podráždí sluchové buňky. Cortiho orgán poté sám posoudí jeho výšku a přetransformuje ji na již zmíněný biopotenciál, který je dál zpracováván.

2.1.2.4. Vedení impulsu do sluchového centra v mozku

Buňky Cortiho orgánu jsou napojeny na vlákna VIII. hlavového nervu (*nervus vestibulocochlearis*). Ten vede biopotenciály směrem do sluchového centra přes sluchovou dráhu. Touto cestou se kříží a spojují v jádrech kmene mozku vlákna obou uší, následně pak pokračují podkorovými centry mezimozku do korového sluchového centra nacházejícího se v kůře mozku.

2.1.2.5. Zpracování nervového vzruchu ve sluchovém centru

Zde pak dochází k vlastní analýze nervového impulsu do takové podoby, jakou doopravdy slyšíme a uvědomujeme si. Ve sluchovém centru je pak mnoho dalších center, které zajišťují správné porozumění řeči a pomáhají k vyjádření pocitů mezi lidmi (např. Wernicovo, Brocovo). [1][2][4][5][9][15]

2.1.3. Vyšetření sluchu

Vyšetření rozlišujeme podle toho, jak je pacient schopen spolupracovat s vyšetřujícím. Záleží proto na jeho věku a stavu vnímání. Jestliže je pacient schopen vnímat a dává vyšetřujícímu odezvu při vyšetření, můžeme ke stanovení prahu sluchu využít subjektivní metody. Jestliže však není schopen spolupráce s vyšetřujícím, pak je potřeba vyšetřit sluch některou z objektivních vyšetřovacích metod, při které získává vyšetřující informace o pacientově sluchovém prahu přímo z přístrojů bez spolupráce pacienta.

Při vyšetřování vnějšího ucha a jeho okolí se mimo jiné používají základní vyšetření pohmatem (palpací), pohledem (aspekci) a poklepem (perkusí). [3]

2.1.3.1. Vyšetření sluchu subjektivními metodami

Vyšetření sluchu řečí

Provádí se na každé ucho zvlášť. Zjišťuje se, z jaké vzdálenosti pacient slyší vyšetřujícího a je schopen zopakovat jeho slova. Pacient je vyšetřován hlasitou řečí (*vox magna*) a šepotem (*vox sibilans*). Slova se volí srozumitelná a známá. Při vyšetřování se používá slov obsahujících hlásky s nízkými, středními a vysokými formanty. [4][5]

Vyšetření sluchu ladičkami

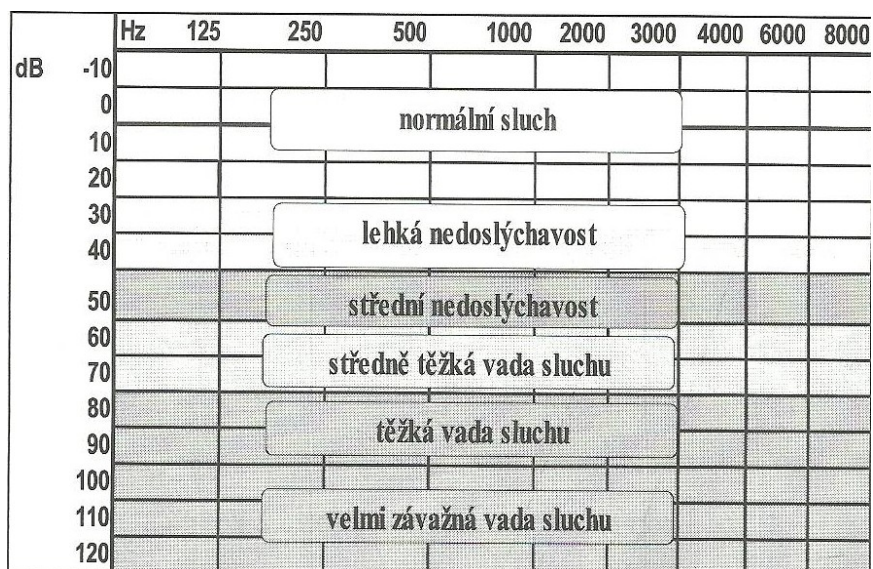
Ladičky se využívají jako zdroje zvuku se známým a konstantním kmitočtem. Jejich úkolem je rozlišit, o jakou nedoslýchavost se jedná, zda je percepční nebo převodní. „U převodní poruchy sluchu je vjem vyvolaný kostním vedením intenzivnější, u percepčních vad sluchu působí silněji vjem zprostředkovaný vzdušným vedením.“ [4] Používají se ladičky o různém kmitočtu. K tomuto vyšetření se užívají tři zkoušky:

- **Weberova**
- **Rinneho**
- **Schwabachova**

Tónová audiometrie

Toto vyšetření se provádí na přístroji, který generuje tóny určitého kmitočtu (Hz) a intenzity (dB). Jeho cílem je vyhledání sluchového prahu nemocného. Vzniklý tón je do ucha veden sluchátky (vzdušné vedení) nebo kostním vibrátorem. Měření se obvykle provádí v rozsahu od 125 Hz do 10 kHz a od -10 do 100 dB. Výsledek je zaznamenáván na audiogramu podle zavedených pravidel. Tónovou audiometrii mohou podstoupit děti už od 3 let. Pacienti musí sedět zády k audiometru i lékaři, aby bylo vyšetření co nejméně ovlivněno.

Vyšetření tónovou audiometrií umožňuje rozlišit sluchové vady: převodní, kdy je kostní vedení normální, ale ztráty jsou ve vedení vzdušném, dále percepční, při které je špatné kostní i vzdušné vedení, a jejich kombinace. Lze také stanovit práh vzdušného, kostního vedení a práh hmatu. [2][3][4][5]

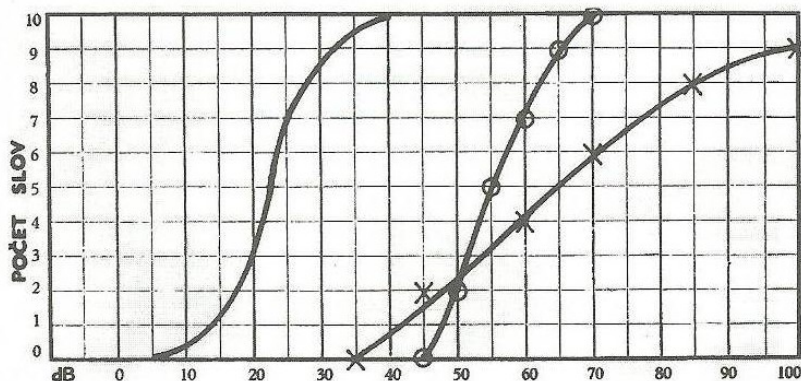


Obr. 5: Tíže nedoslýchavosti podle audiogramu [2]

Slovní audiometrie

Vyšetřovací zařízení obsahuje místo tónového generátoru nahrávky předem nahraných slov. Používají se sestavy po 10 slovech, slova musí být obvyklá a obecně známá. V těchto sestavách musí být zastoupena slova jedno-, dvou-, víceslabičná a také slova obsahující hlásky hlubokých a vysokých frekvencí. Existují i speciální sestavy pro děti.

Série slov jsou pacientovi přehrávány v různé intenzitě a ten je postupně opakuje. Do grafu se postupně zanáší počet správných odpovědí v závislosti na intenzitě. Graf normálního slyšení má esovitý tvar, graf převodní poruchy má stejný tvar, ale je posunut do větších intenzit. Percepční nedoslýchavost se projevuje diskriminací řeči, nemocný slyší, ale špatně rozumí a zvyšováním intenzity se rozumění nemusí zlepšovat. [2][3][4][5]



Obr. 6: Graf slovní audiometrie. O - záznam převodní nedoslýchavosti, X - záznam percepční nedoslýchavosti [3]

2.1.3.2. Vyšetření sluchu objektivními metodami

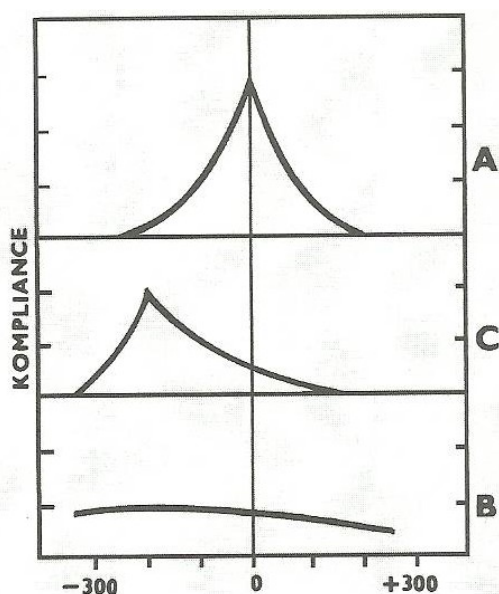
Otoakustické emise (OAE)

Vyšetření touto metodou je jednoduché neinvazivní a je využíváno k vyšetření novorozenců a malých dětí s podezřením na vadu sluchu. Zdravé ucho generuje periodickým kmitáním vláskových buněk zvuky, které emituje přes středoušní mechaniku. Tyto zvuky je možné detekovat citlivou sondou zavedenou do zvukovodu. Signál je slabý a je přerušován šumy z okolí. Měření se provádí ve frekvenčním intervalu od 0,5 Hz do 4 kHz, maximum je okolo 2 kHz, okolo 1 kHz je zpoždění 10 - 16 ms (různé dle věku). Jestliže sonda nedetekuje žádné zvuky, je zde podezření, že vyšetřované ucho podléhá sluchové vadě. [2][3][4][5][8]

Tympanometrie (= Impedanční audiometrie)

V podstatě se jedná o měření akustické impedance blanky bubínku pomocí tympanometru. Tato metoda je jednoduchá a rychlá, používá se ke zjištění tlaku ve středouší, zjištění třmínkového reflexu, sluchové únavnosti atd. V utěsněném zvukovodu se mění tlak v rozmezí od 200 mm H₂O do - 400 mm H₂O. Měří se hladina intenzity testovacího tónu (220 Hz), který je přiveden na blanku bubínku, kterou rozkmitá. Vzniklá energie je poté odražena zpět do zvukovodu a je zachycena tympanometrem, který vyhodnotí měření. Čím je blanka bubínku tužší, tím více energie se odrazí a naopak.

Výsledkem měření je graf (tympanometrická křivka), ten má svůj vrchol při tlaku, který odpovídá tlaku ve středouší za normálních podmínek v nulové hodnotě. Je-li v bubínkové dutině podtlak, křivka se posune směrem do záporných hodnot tlaku. Je-li ve středouší místo vzduchu výpotek, pak má křivka plochý charakter. Výška vrcholu křivky stoupá u atrofických bubínků nebo u přerušného řetězu kůstek, naopak klesá při provzdušněném středouší a pevném spojení kůstek. [2][3][4][5]



Obr. 7: Tympanogram. A - normální tlak ve středouší, B - výpotek v bubínkové dutině, C - podtlak ve středouší [3]

Vyšetření evokovaných potenciálů

Jde o zcela objektivní metodu vyšetření sluchového aparátu. Měří se v ní akční (elektrické) potenciály ve smyslových buňkách, neuronech sluchové dráhy nebo jejich centrech. Tyto elektrické potenciály jsou vlastně odpovědi na podráždění vláskových buněk vnitřního ucha. Mohou vznikat buď spontánně vnitřní činností orgánů nebo na základě podráždění - evokace. Jejich napětí je ale strašně malé, pohybuje se řádově v nanovoltech (10^{-9} V). Oproti takovému EKG nebo EEG záznamu, kde se napětí pohybuje v milivoltech (10^{-3} V), respektive v mikrovoltech (10^{-6} V). K jejich detekci je proto zapotřebí drahé a výkonné techniky. Jelikož tělo neustále produkuje EKG a EEG signál, je nutné přiřadit ke klasickému zesilovači ještě příslušný stimulátor a počítač. Podle místa, kde měříme akční potenciály, existují různé typy vyšetření. Například elektrokochleografie (ECochG), BERA - kmenová audiometrie, CERA - korová audiometrie.

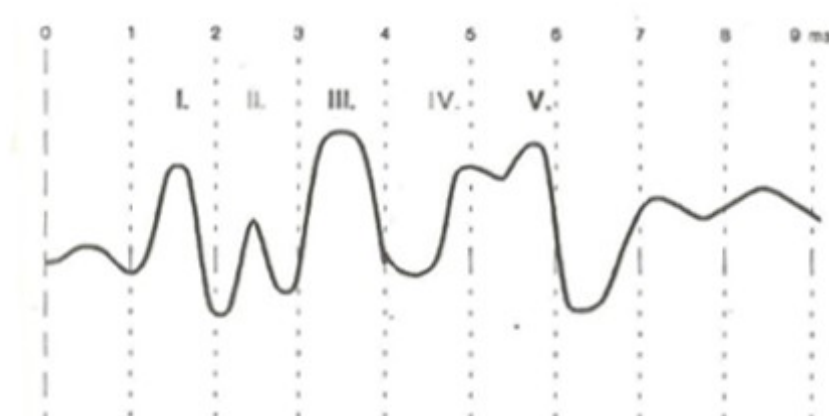
Velikost a frekvence evokovaných potenciálů je snímána velmi citlivými elektrodami z povrchu hlavy a vedena ke zpracování do počítače. Počítač připojen k zesilovači společně se stimulátorem pak průměruje pouze časové úseky spojené se stimulátorem. Opakuje-li se stimulace, pak je odpověď evokovaných potenciálů stále stejná a zřetelnější díky tomu, že ostatní nahodilé signály se díky malému počtu pravděpodobnosti průměrování jakoby mažou. Proto čím častěji se stimulace opakuje, tím je výsledná křivka spolehlivější. Celkový počet stimulací dosahuje několika tisíc. [2][3][4]

BERA(ABR,BAEP) (Brainstem Evoked Response Activity, Brainstem Auditory Evoked Potential)

Jak již bylo řečeno, jedná se metodu vyšetření evokovaných potenciálů, přesněji kmenových evokovaných potenciálů. Původ jednotlivých vln dodnes není zcela úplně objasněn, avšak již v roce 1967 Sohmer a Feinmesser [16] jako první publikovali, že kochleární potenciály by bylo možné získat neinvazivní metodou. V roce 1971 poté Jewett a Williston [17] popsali ABR a interpretovali původ jednotlivých vln. Zjistili, že vlny I,II vznikají v oblasti sluchového nervu až kochleárních jader a vlny III - V v oblasti mozkového kmene. K dostatečnému a spolehlivému snímání je nutné detekovat tisíce odpovědí. Toto vyšetření je zcela objektivní, je výhodné z toho důvodu, že se jím dají vyšetřit pacienti například i v bezvědomí nebo pacienti s nízkým stavem bdělosti. Výhodné je také pro novorozence, u kterých nemůžeme očekávat spolupráci při vyšetření.

Princip vyšetření je takový, že do uší pacienta jsou pomocí sluchátek pouštěny kliky nebo tóny (bursty) o frekvenci 2 - 4 kHz. Tato frekvence je volena, protože je z fyziologického hlediska člověkem nejlépe slyšitelná. Stimulace probíhá mnohokrát za sekundu, tudíž délka jednotlivých kliků se pohybuje v hodnotách ms. Jednotlivé stimulace poté dráždí vláskové buňky, vytvoří se nervový potenciál, který postupuje sluchovým nervem přes kmen mozkový, ve kterém se kříží sluchové dráhy obou uší, až do sluchového centra kůry mozkové, kde dochází ke zpracování elektrického signálu do slyšitelné podoby v jednotlivých specializovaných centrech. Dále jsou připojeny k zesilovači elektrody, které snímají odezvy (elektrické potenciály) na zmíněné kliky (stimuly) z povrchu lebky. Elektrické potenciály jsou velmi malé (nV), proto je zapotřebí snímat 1000 - 4000 odpovědí. Opakuje-li se stimulace, pak je odpověď evokovaných potenciálů stále stejná a zřetelnější díky tomu, že ostatní, nahodilé signály (EEG,EKG,...) se díky malému počtu pravděpodobností průměrování jakoby mažou. Proto čím častěji se stimulace opakuje, tím je výsledná křivka spolehlivější. Měření probíhá nejdříve na levém uchu na hladinách 70 dB nHL, 75 dB nHL a 80 dB nHL, poté se automaticky přepne na ucho druhé a proběhne stejné měření.

Z jednotlivých grafů (vln) můžeme zjistit, o jaké postižení či poruchu se jedná. U převodní sluchové vady je charakteristické posunutí vlnového komplexu k vyššímu zpoždění (latencím), zato vlna nebývá nijak zdeformovaná od normálu. U percepční kochleární vady se zase například zhoršuje rozlišitelnost jednotlivých vln a dochází k prodlužování latencí u nižších intenzit. Hlavním kritériem pro zjištění, že se jedná o retrokochleární percepční vadu, je to, že se zjišťují prodloužení mezivrcholových intervalů mezi vlnami I - V. Je-li prodloužení cca o 0,3 ms, jedná se o podezření z vady, ovšem je-li prodloužení větší než 0,5 ms, je zde vysoká pravděpodobnost retrokochleární percepční vady. [2][3][4][12][13]



Obr. 8: Přibližný vzhled křivky BERA. Výskyt vln: I-kochlea a sluchový nerv, II - kochleární jádra v prodloužené míše, III - olivární jádra, IV - střední mozek, V - jádra mezimozku [4]

CERA (Cortical Evoked Response Activity)

Jedná se o vyšetření korových evokovaných potenciálů, které informují o skutečném slyšení. Jsou ovlivněny bděním (latence 50 - 300 ms, ve spánku 200 - 600 ms). [2][3][4]

2.1.4. Evokované potenciály

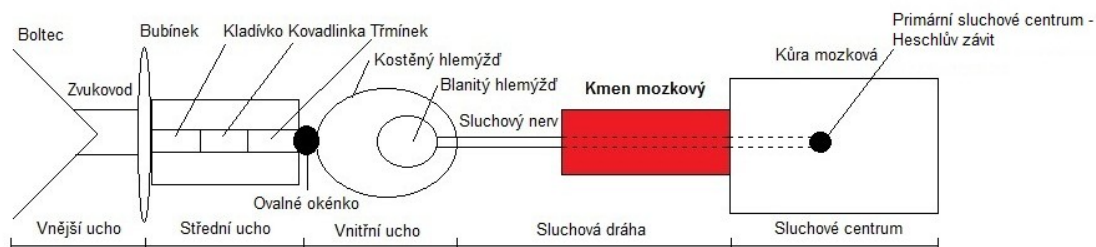
Události, týkající se potenciálů mozku, jsou odpovědi, které jsou časově vázány na nějaké podráždění. Toto podráždění může mít charakter smyslového podnětu (vizuální či zvukový), duševní (poznání určitého typu stimulu), nebo také může vzniknout jako vynechání podnětu (větší časový rozdíl mezi podněty).

Pro sluchové evokované potenciály je podnětem podráždění zvuk. Tyto evokované potenciály vznikají v mozku při podráždění zvukem, jsou velmi malé, jejich napěťové hodnoty se pohybují v nanovoltech. Potenciály jsou zaznamenávány z hlavy pomocí elektrod. Jejich záznam se provádí z hlavové části kvůli dobrému zachycení signálu z mozku (kůry mozkové, mozkového kmene nebo hlavového nervu). Jejich nízké napětí v kombinaci s relativně vysokým elektrickým šumem na pozadí vyžaduje použití vysoce citlivých zesilovačů a výpočetní techniky k průměrování a počítání s těmito signály.

Sluchové evokované potenciály můžeme rozdělit na 3 skupiny:

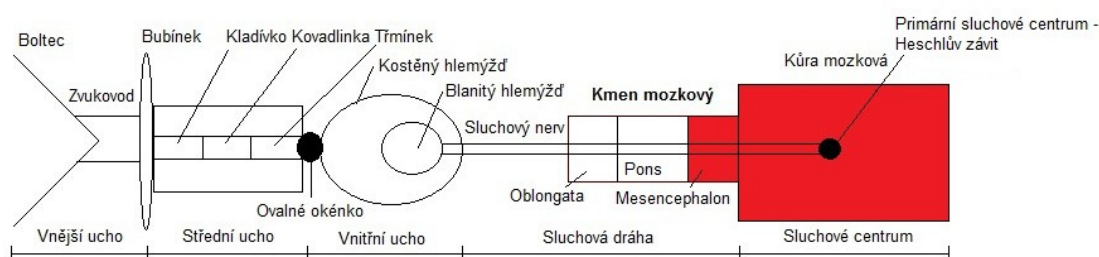
- Sluchové evokované potenciály s krátkou latencí (Short Latency Responses - SLR). Jsou velmi krátké, vyskytují se mezi 0 - 10 ms v záznamu po stimulaci. Tyto potenciály zasahují části mozkového kmene. Jeho odpověď se ukazuje ve vyšetření jako sled několika vln I, II, III, IV, a V. Toto vyšetření je vhodné pro zjištění míry poškození

sluchových drah v mozkovém kmeni, protože potenciály nejsou ovlivněny stavy pacientů jako je například bdělost a ospalost.



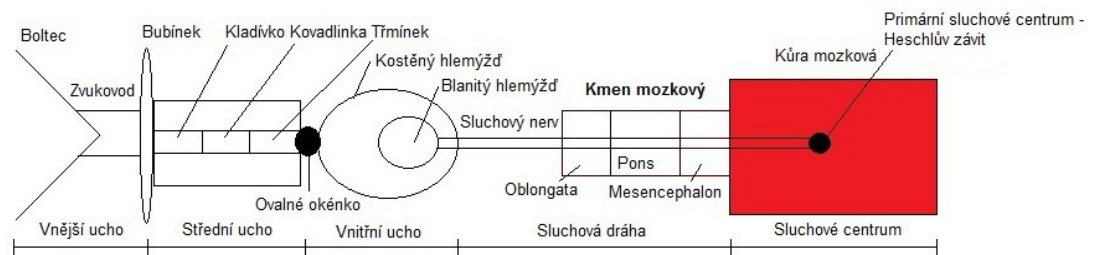
Obr. 9: Schéma sluchových evokovaných potenciálů s krátkou latencí

- Sluchové evokované potenciály se střední latencí (Middle Latency Responses - MLR). Vyskytují se mezi 10 - 100 ms po podráždění a skládají se z několika vln. Vlna Na (negativní vlna následující po vlně V, pochází z horní části mozkového kmene) a vlna Pa (pozitivní vlna vyskytující kolem 30 ms pocházející ze sluchové kůry). Tyto signály (potenciály) jsou mírně ovlivněny stavy pacientů, proto je vyšetření vhodné pro zjištění míry poškození sluchové dráhy nad úrovní mozkového kmene. Odpovědi těchto evokovaných signálů se vyskytují v oblasti středního mozku (*mesencephalon*) a kůry mozkové.



Obr. 10: Schéma sluchových evokovaných potenciálů se střední latencí

- Sluchové evokované potenciály s dlouhou latencí (Long Latency Responses - LLR). Jsou nejdelšími potenciály s odezvou 50 - 250 ms po stimulaci vyskytující se ve sluchové kůře. Výsledek je zobrazen pomocí vln N1, P1, N2 a P2. N1 je největší negativní vlna objevující se cca 80 - 100 ms po stimulaci. Křivky jsou přímo závislé na pohotovosti a bdělosti pacienta. Potenciály s dlouhou latencí se používají především k odhalení neurologické poruchy pozornosti. Odpovědi na tyto evokované potenciály se vyskytují v oblasti kůry mozkové. [2][3][4][8][14]



Obr. 11: Schéma sluchových evokovaných potenciálů s dlouhou latencí

3. Praktická část

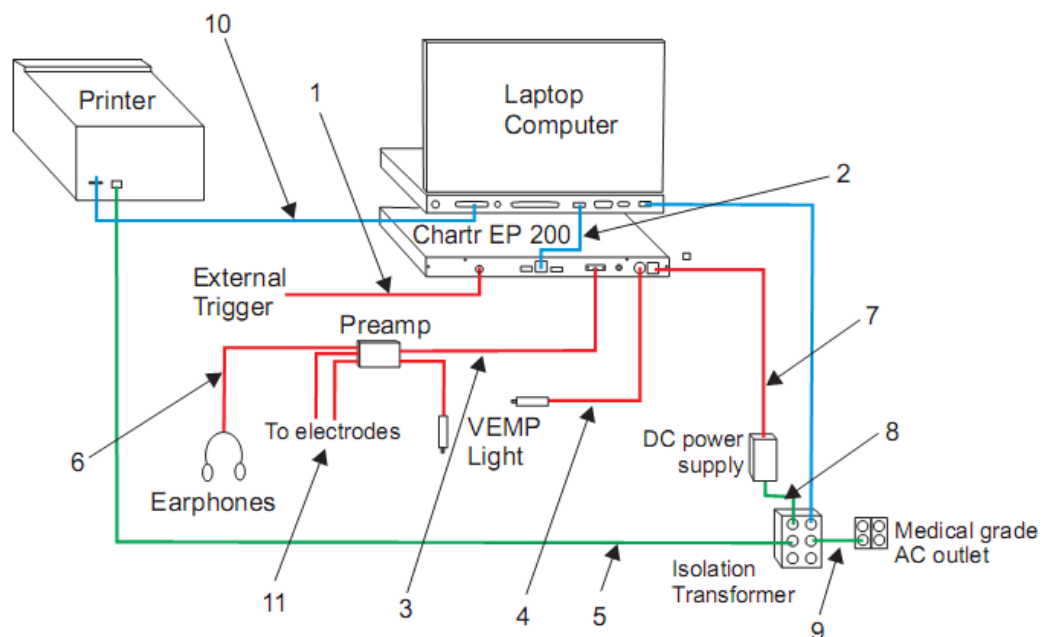
3.1. Popis přístroje a technické specifikace

ISC CHARTR EP 200 firmy GN Otometrics je moderní přístroj sloužící k audiometrickým vyšetřením. Je určen k měření, záznamu, zobrazení a vyhodnocení akusticky evokovaných potenciálů. Slouží k určení sluchové ztráty, sluchových a vestibulárních funkcí nebo lézí ve sluchové dráze. Jeho výhodou je, že může být nakonfigurován pro široký rozsah elektrofyziologických testů, může provádět záznam jednoho nebo více protokolů v posloupnosti podle potřeb vyšetření. Tento přístroj je mimo jiné vybaven také VEMP monitorem, který se používá pro vyšetření stavu krčního svalu povrchovou elektrodou během vyšetření vestibulárního evokovaného myogenního potenciálu (odtud VEMP). Provádí všechny testy z jednoho vysoce výkonného přístroje připojeného přímo k počítači nebo notebooku. Všechny výsledky mají společnou databázi pro tisk lékařských zpráv v papírové nebo elektronické formě.



Obr. 12: Přístroj ISC Chartr EP 200

Používání těchto softwarů není složité, pokud známe problematiku a záměr vyšetření. Avšak před jejich užitím se musí dbát na určitá nařízení a upozornění. V případě, že se v době nahrávání u pacienta objeví křeče (svalové kontrakce), zvláště pak v oblasti krku, šíje a ramen, může dojít ke zhoršené kvalitě nahrávky nebo zcela k neakceptovatelné kvalitě z důvodů velké svalové aktivity (artefakty). Pacienti musí být testováni později, dokud se jejich stav nezlepší. Před každým nahráváním by se mělo zkontrolovat a ověřit nastavení, správný typ zvukového stimulu, úroveň, filtr a nahrávací okno. V případě, že systém nebyl nějaký čas používán, by měl operátor (vyšetřující) zkontrolovat snimače, elektrody a ověřit, zda je systém připraven na další vyšetřování. Za žádných okolností by se neměly ušní násady čistit ponořením do kapaliny. [11][12][18][19]



Obr. 13: Schéma propojení přístroje [11]

Přístroj ISC Chartr EP 200 je napájen adaptérem (DC power supply) (Obr. 13) připojeným do elektrické sítě (Medical grade AC outlet) přes izolační transformátor (Isolation transformer), který zajišťuje souvislou dodávku elektřiny pro zařízení, která nesmějí být neočekávaně vypnuta. Aby bylo měření možné, musí být jednotka propojena s počítačem (Obr. 13-2). To se uskutečňuje pomocí rozhraní USB.

Tab. 1: Vlastnosti adaptéru

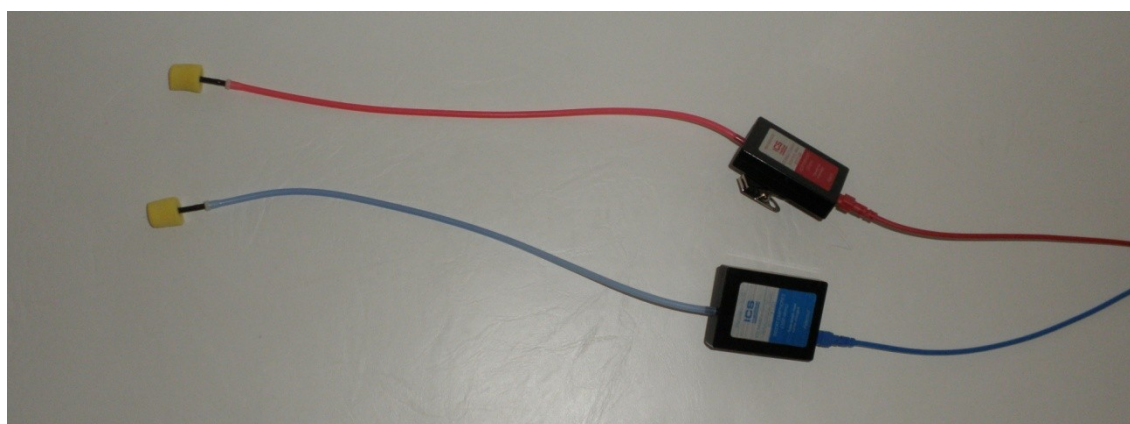
Vlastnosti adaptéru	
Vstup:	100 - 240 V, 50 - 60 Hz, 400 mA
Výstup:	15 V, 2 A

Pokud chceme měřit VEMP, připojíme k přístroji i VEMP monitor Obr. 13 (1). Do přístroje musí být dále zapojen dvoukanálový předzesilovač Obr. 13 (3). Jeho zisk je $\times 1,000$ - $\times 50,000$. V něm se nachází analogové filtry typu horní (0,2 - 1 kHz; 6dB/oktávu) a dolní propust (15 Hz - 10 kHz; 12dB/oktávu).



Obr. 14: Předzesilovač

Zdrojem stimulů jsou sluchátka (Obr. 13- 6), která jsou připojena do předzesilovače. Privádějí do uší klik nebo tón (burst), jehož rozsah je 0,2 - 180/sec. Frekvence tónů (burstů) je 2 - 4 kHz, kliky jsou velmi krátké, jejich trvání je 100 - 200 μ s o frekvenci 10 Hz a vyšší (50 Hz). Parametry stimulů jsou programovatelné a záleží na potřebě vyšetřujícího, zda využije automatické nastavení nebo manuální. Intenzita jednotlivých stimulů se dá nastavit mezi hodnotami 0 dB až 132 dB SPL. Existují dva typy sluchátek, které se používají k vyšetření. Jedním z nich jsou tzv. insert phones, která se zavádějí do vnějšího zvukovodu, slouží pro lepší přenos stimulů.



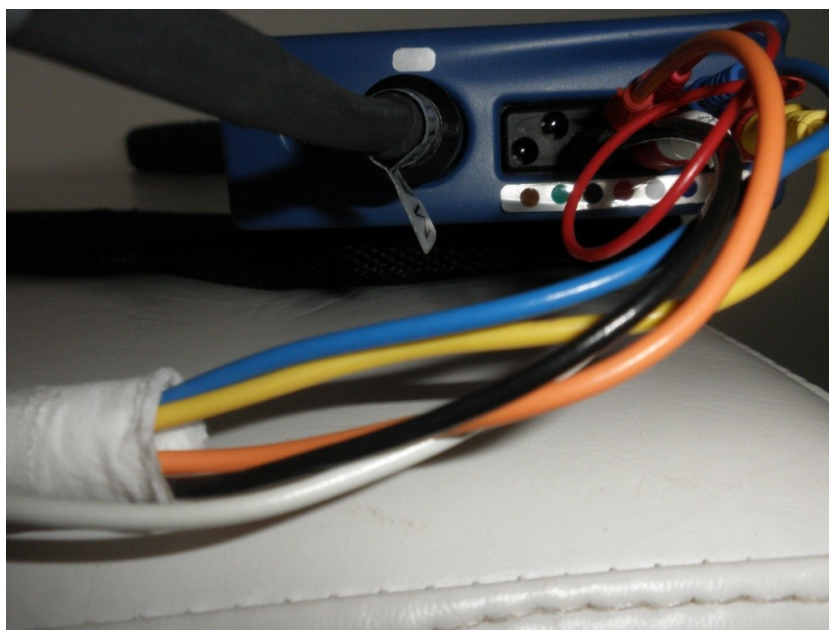
Obr. 15: Insert phones

Druhým typem sluchátek jsou klasická, nasazovací sluchátka přes hlavu (headphones). U obou typů musí platit, aby správně přiléhala k hlavě a nedocházelo tak k únikům stimulů. Ke kostnímu vyšetření lze připojit kostní vibrátor.

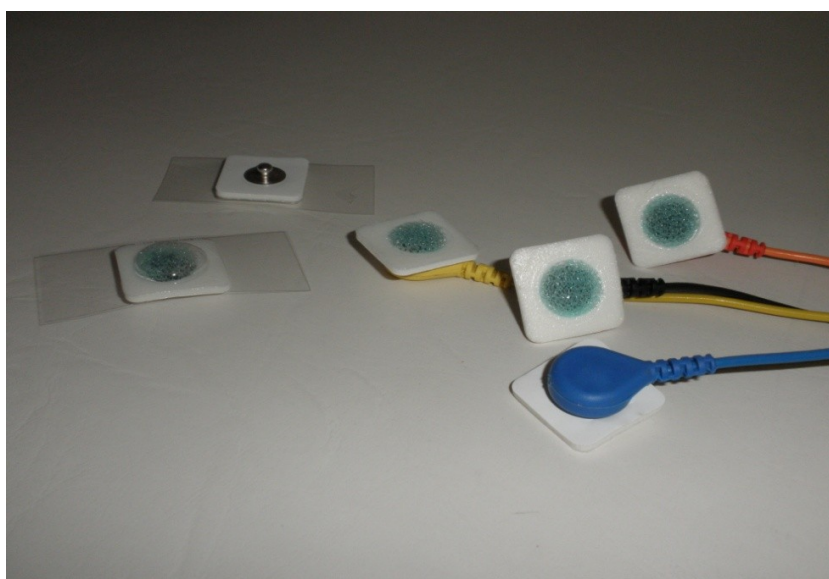


Obr. 16: Headphone sluchátka

Ke snímání evokovaných potenciálů se používají jednorázové nalepovací elektrody (Obr. 13-11) a (Obr. 18). Jsou spojeny s předzesilovačem podle barevného označení, které se nesmí zaměňovat. Pro snímání elektrických potenciálů se používají Ag/AgCl elektrody k vyšetřování EP (evokovaných potenciálů).



Obr. 17: Zapojení elektrod



Obr. 18: Nalepovací, jednorázové elektrody



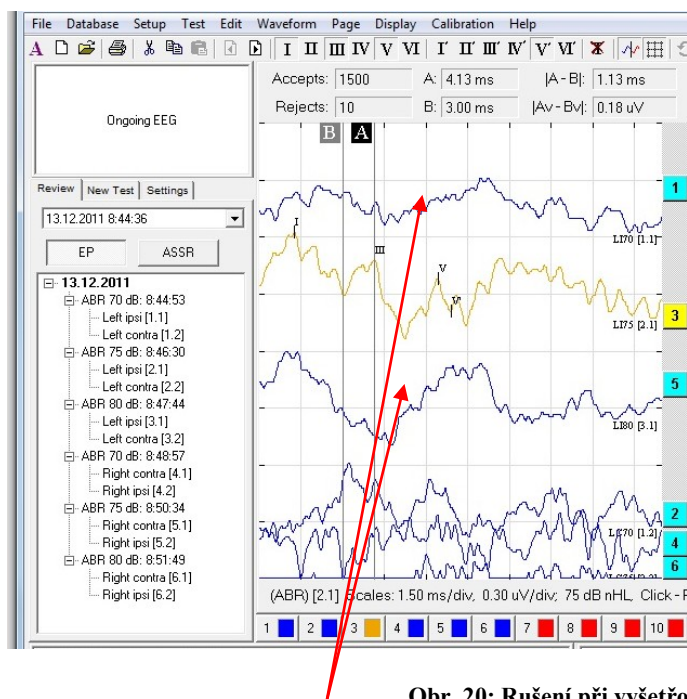
Obr. 19: Zadní panel ICS CHARTR EP 200

Tab. 2: Zadní panel ICS CHARTR EP 200

Zadní panel ICS CHARTR EP 200	
Pořadí	Funkce
1.	VEMP monitor
2.	Předzesilovač
3.	USB
4.	PC (notebook)
5.	USB
6.	Externí spouštěč
7.	Pojistka napájení
8.	Napájení (adaptér)

3.1.1. Příprava před vyšetřováním

Na začátku, před tím, než začneme vyšetřovat, se musíme ujistit, že je vyšetřovací místnost vhodná k použití tohoto přístroje. To znamená, aby se v místnosti nevyskytovaly žádné elektrické spotřebiče, které by mohly ovlivňovat měření, a aby byla místnost dostatečně odhlučněná. Přístroj a samotné vyšetření je velmi citlivé na různé šumy (rušení), jak už akustické, tak i elektrické. V místnosti by měly být při vyšetřování vypnuta světla, zářiče, mobilní telefony a ostatně všechny jiné elektronické přístroje, které nejsou nutností pro práci s pacientem. V případě, že je vyšetření rušeno, výsledný graf je znehodnocen.



Obr. 20: Rušení při vyšetřování

Rušení vln 1 a 5 na levém uchu

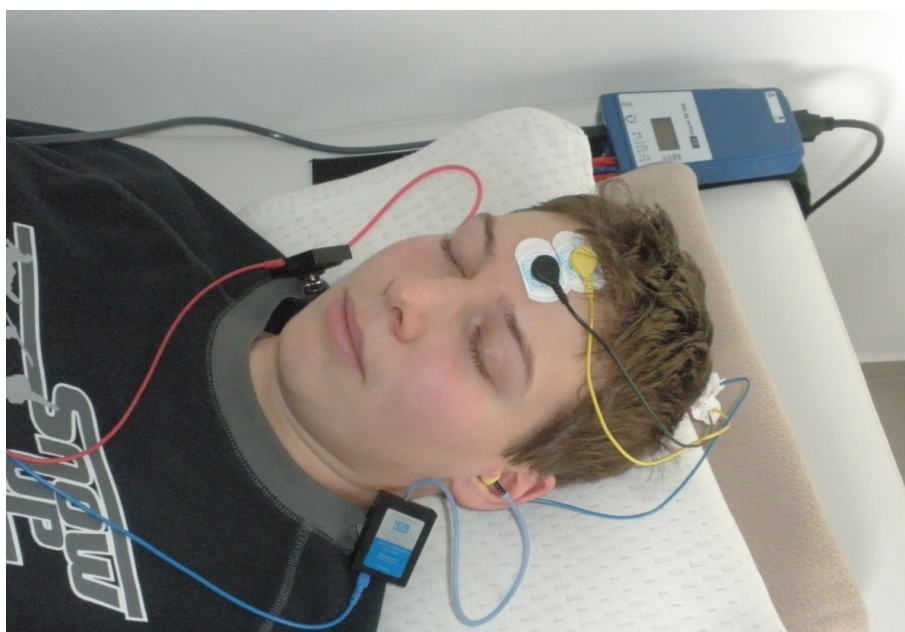
Toto rušení se může vyskytnout i v případě, kdy pacient nebude v klidu a bude se pohybovat. V tomto případě grafy zaznamenávají místo evokovaných potenciálů sluchové dráhy například EMG signál, který je silnější. Na záznamu není možné označit ani jednu z posuzovaných vln (I, II, III, IV, V).

K získání dobrých výsledků by měl pacient v tichosti ležet na zádech nebo by měl sedět zakloněný v křesle. Pohodlnost je také důležitá, pacient se bude cítit v klidu, bude uvolněn a nic nebude bránit vyšetření. Nejlepší je, když je pacient vyšetřován ve spánku, neboť v té době je zcela zrelaxovaný a záznam tak bude odpovídat skutečným sluchovým ztrátám.

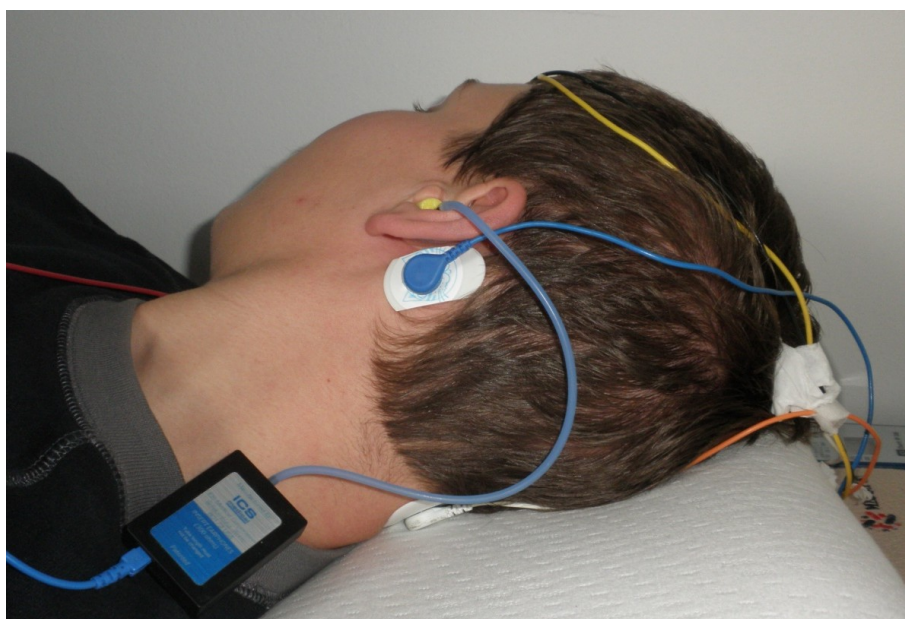
Před každým testováním je nutno připravit kůži. Kůže musí být připravena a očištěna, aby se dosáhlo co nejnížší kožní impedance. Pro tyto účely existují dva různé typy past: Jeden, který stírá tenkou vnější vrstvu kůže, a druhý vodivý, který slouží k opakovatelnému spojení elektrod s kůží. K přípravě kůže se používá pouze první typ past (díky jejich abrazivnímu složení).

To, že je kůže dobře připravená (očištěná), zjistíme tak, že je její povrch díky tření lehce načervenalý. Není to však na závadu, jelikož docílíme dobré impedance. Není ale vhodné kůži očišťovat dlouho, neboť při silném tření se kůže příliš rozruší a kožní odpor opět vzroste. U novorozenců se obvykle nevyžaduje tak intenzivní abraze kůže jako u dospělých pacientů. Někteří lékaři upřednostňují používat k očištění kůže společně s pastou i alkohol. To zajistí velmi čistou oblast vhodnou pro přilnavou (lepící) část elektrod.

Při umísťování elektrod na pokožku se musí dbát na jejich barevné označení, aby nedošlo ke špatnému vykreslení signálů. K vyšetřování se používá 5 elektrod: modrá, červená, bílá, černá a žlutá elektroda. Jejich barva je specifická, podle ní se umísťují elektrody na lebku. Modrá elektroda se připevňuje na levou stranu, červená na pravou stranu lebky, přesněji na bradavkové výběžky (*processus mastoideus*). Důležité je nalepit tyto elektrody správně na bradavkové výběžky, neboť jsou-li nalepeny špatně, mohou snímat signál z jedné z hlavových tepen a to by znamenalo, že vyšetření se bude muset opakovat. Další je na řadě bílá elektroda, která se připevňuje pacientovi na zátylek, žlutá elektroda se připevní v oblasti čela (v její horní části) a černá se přilepí pod žlutou. Pod každou elektrodu se nanáší vrstva vodivého gelu (pokud nejde o jednorázové elektrody opatřeny předem naneseným gelem), aby došlo k lepšímu přechodu mezi elektrodou a kůží. Aby se docílilo správného nerušeného vyšetření, nesmí během vyšetření dojít k jakémukoli kontaktu mezi vodivými částmi, elektrodami a jejich konektory. K vyšetřování se musí používat pouze gel určený k elektroencefalografii. Tento systém může být používán k záznamu potenciálů generovaných svaly a nervy na lidech, ale také při výzkumech prováděných na zvířatech.



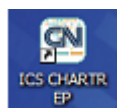
Obr. 21: Umístění elektrod



Obr. 22: Umístění elektrod

Je-li vše připraveno, pak se pacientovi nasadí sluchátka. Jsou dva typy sluchátek: klasická (headphone) sluchátka, která pacientovi nasadíme na hlavu, nebo sluchátka s pěnovými ušními koncovkami (insert phones), která se vpravují pacientovi do vnějšího zvukovodu. Správné vložení ušních koncovek je důležité, zajistí, že očekávaná intenzita stimulu bude přivedena do ucha. Měl by se použít co největší rozměr koncovky, který bude v uchu těsnit. Koncovka musí zaplňovat celou vnější aperturu zvukovodu a nesmí vyčnívat do konchy. Nesprávné vložení má za následek snížení kvality záznamu a zvýšení hodnot prahů. U druhého typu sluchátek také platí, že musí správně přiléhat k hlavě.

Jestliže je zajištěna příprava kůže a elektrody jsou umístěny na správných místech, je zapotřebí před každým vyšetřením kontrola impedance. Pro nejlepší výsledek by měla být impedance obou uší vyvážená a měla by být menší než 5 k Ω . Test impedance se provádí automaticky, stačí pacientovi pouze připevnit elektrody, spustit program ISC Chartr EP a zde stisknout klávesovou zkratku F7 pro test impedance.



Obr. 23: Ikona ISC Chartr EP

Test impedance trvá jen krátkou dobu, zhruba pět vteřin. Po jeho kontrole se objeví tabulka s číselnými hodnotami impedancí na všech elektrodách.

	Active	Reference
Channel 1:	15.0 K Ohm	9.3 K Ohm
Channel 2:	15.0 K Ohm	16.2 K Ohm
Ground:	6.1 K Ohm	

VEMP Monitor

Left: Open
Right: Open

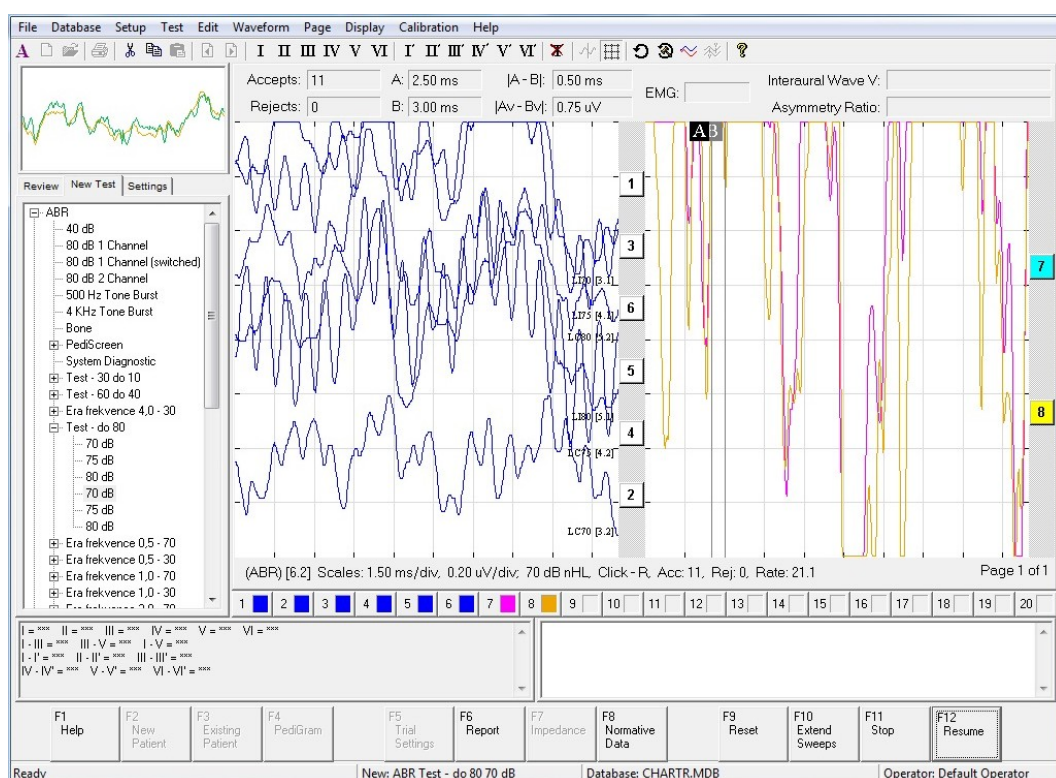
OK

Obr. 24: Test impedance (vysoká impedance)

Po vyhodnocení testu (Obr. 24) je vidět, že požadovaná impedance 5 kΩ je překročena. Proto se musí celý proces odmaštění kůže opakovat, musí se nalepit nové elektrody a test impedance spustit znovu. Zvýšená impedance může být překročena z důvodu špatně odmaštěné kůže, špatného vodivého gelu nebo kvůli slabě přilepeným elektrodám ke kůži. Testuje se do té doby, než jsou všechny výsledky impedancí ve správném rozsahu. Poté se přikročí k vlastnímu vyšetření.

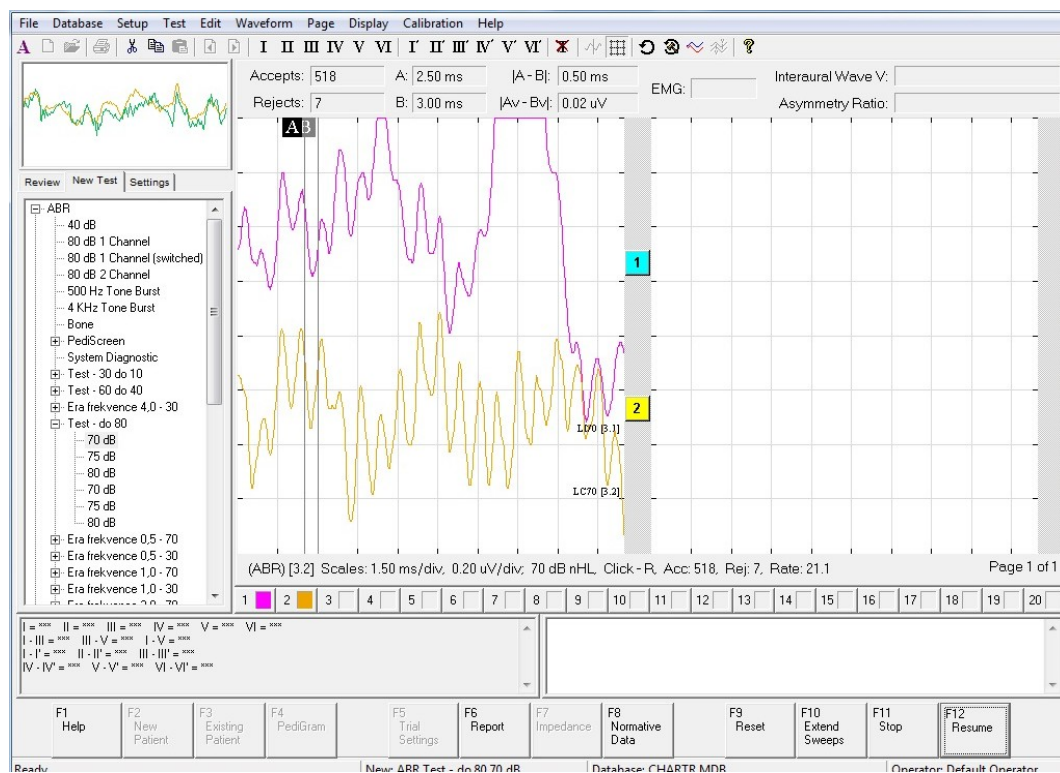
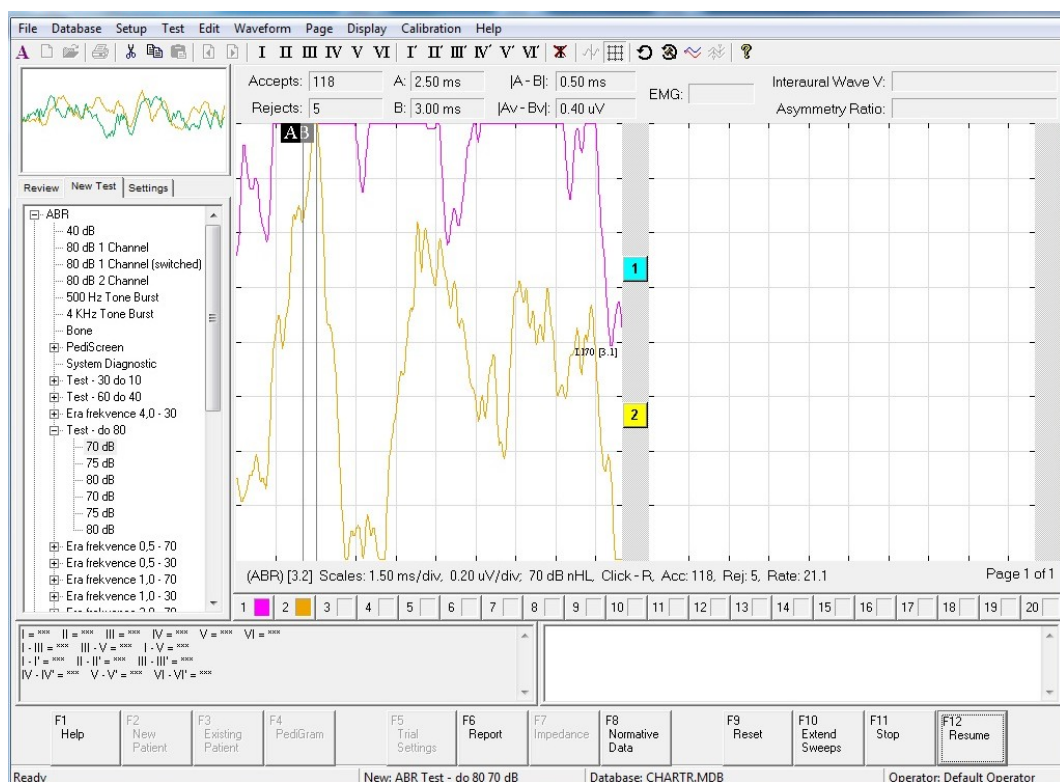
3.1.2. Průběh vyšetření a vyhodnocení

Celková doba vyšetření pomocí evokovaných sluchových potenciálů je přibližně 20 minut. Probíhá na každém uchu zvlášť pro hladiny zvuku 70 dB, 75 dB a 80 dB. Citlivé elektrody zaznamenávají odezvu na vyvolané sluchové podněty, která se pohybuje ve velmi nízkých hodnotách (nV), a proto je nutné opakování několika tisíci podněty. Pro hodnotu 70 dB přístroj ukončí vyšetření, když shromáždí 2000 odpovědí. Pro hodnoty 75 a 80 dB stačí přístroji 1500 odpovědí z důvodu vyšší intenzity zvuku, neboť dochází k větší sluchové únavě. Kdyby nedošlo k dostatečnému počtu přijatých odpovědí, výsledný graf by byl znehodnocen, nedaly by se označit jednotlivé vlny a nedalo by se ani vyhodnotit, zda je vyšetřovaný v pořádku či ne.



Obr. 25: Nedostatečný počet přijatých odpovědí (11) - pravé ucho

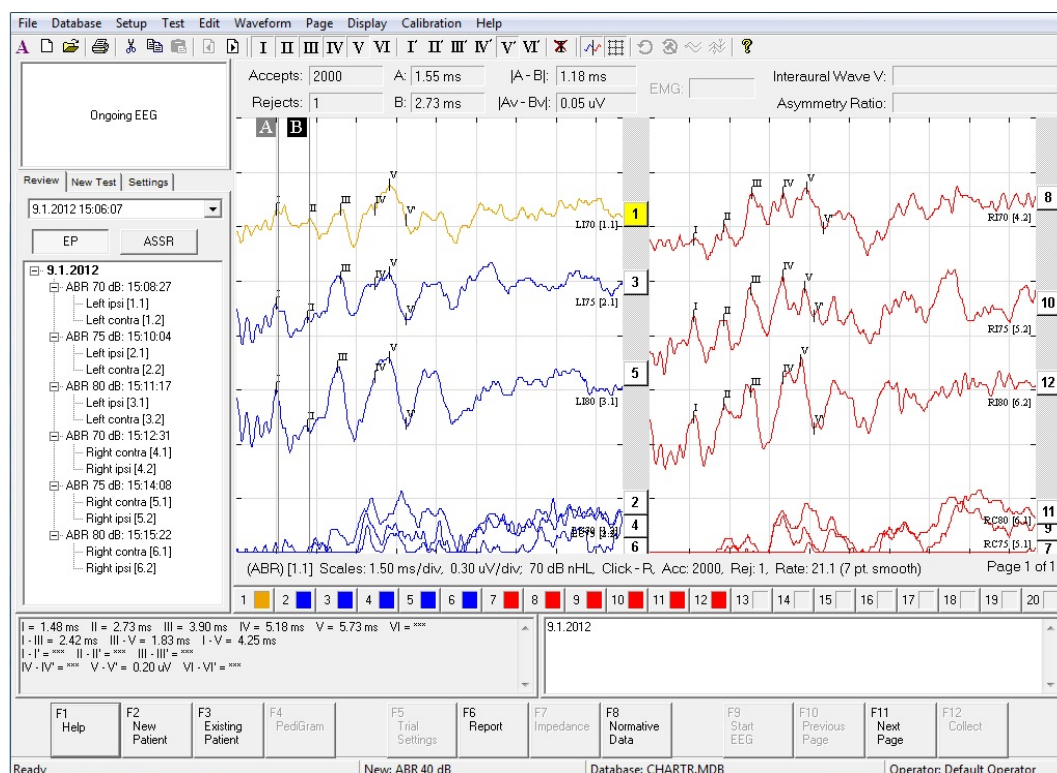
Na obrázku (Obr. 25) je znázorněno, jak vypadá průběh testu na pravém uchu (červené vlnové komplexy) po 11 přijatých evokovaných zvukových odpovědích (Accepts). Díky malému počtu odpovědí není zřetelný evokovaný potenciál zaznamenávaný v průběhu sluchové dráhy až do kmene mozkového. Je zaznamenána pouze mozková aktivita, proto se musí pokračovat k získání většího počtu. Obrázky (Obr. 26), (Obr. 27) ukazují stejný problém nedostatečného počtu přijatých odpovědí, z vlnových komplexů se nedají určit žádné hodnoty, ani když se počet přijatých odpovědí rovná 118 (Obr. 26), 518 (Obr. 27).



Jakmile se test ukončí, můžeme začít označovat jednotlivé vlny, pokud jsou dostatečně zřetelné v rozmezí, v jakém by se měly u zdravých jedinců vyskytovat. Díky tomu poté můžeme usoudit, zda se jedná o ztrátu vedení, či ne. Vlny I, II vznikají v oblasti sluchového nervu až kochleárních jader a vlny III, IV a V v oblasti mozkového kmene. Hodnotíme opakovatelnost odpovědí a tvar vlnového komplexu. Vlna I má latenci mezi 1,5 - 1,9 ms a odpovídá aktivitě sluchového nervu, vlna II s latencí 2,8 - 3,0 ms odpovídá aktivitě sluchového jádra. Vlna III odpovídá aktivitě *oliva superior* (mozkového jádra sluchové dráhy, které je klíčové pro binaurální slyšení), její latence je 3,5 - 4,1 ms. Vlna IV má latenci 4,3 - 5,2 ms a vlna V 5,1 - 5,9 ms. Obě poslední vlny odpovídají aktivitě *colliculus inferior* nacházející se v jádrech sluchové dráhy.

3.1.2.1. Vyhodnocení zdravého pacienta

Na (Obr. 28) je zobrazen kompletní výsledek vyšetření. Počet přijatých odpovědí (2000) je dostatečný, vlnové komplexy jsou zřetelné a dají se posoudit lékařem. Jsou zde vidět tři vlnové komplexy na každé straně. Levá část (modré křivky) znázorňuje levé ucho, pravá část (červené křivky) ucho pravé. Výsledky tohoto pacienta jsou naprosto v pořádku, všechny jeho vlnové latence (Tab. 3) se pohybují ve vymezeném pásmu pro normální zdravý sluch. Součástí vyšetření je také vyhodnocení rozdílu mezi pravým a levým uchem, vrcholové a mezivrcholové intervaly (Tab. 4). Hodnotí se rozdíl mezi I. - III., III. - V. a I. - V. vlnou. Důležité jsou i amplitudy jednotlivých vln, ty se vyskytují v rozmezí několika μV . Grafy normativních dat jsou také všechny v pořádku, symboly znázorňující pravé a levé ucho se nacházejí uvnitř normativních dat.



Obr. 28: Výsledky vyšetření

Tab. 3: Vrcholové latence

I = 1.48 ms	II = 2.73 ms	III = 3.90 ms	IV = 5.18 ms	V = 5.73 ms	VI = ***
I - III = 2.42 ms	III - V = 1.83 ms	I - V = 4.25 ms			
I - I' = ***	II - II' = ***	III - III' = ***			
IV - IV' = ***	V - V' = 0.20 uV	VI - VI' = ***			

Tab. 4: Mezivrcholové intervaly

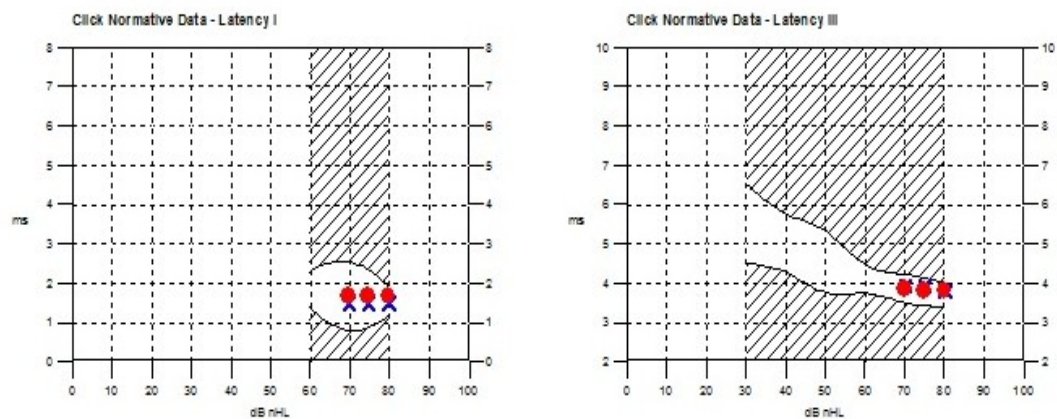
INTERPEAK INTERVALS (ms)				
ABR				
Waveform	Ear	I-III	III-V	I-V
1	Left	2.42	1.83	4.25
3	Left	2.42	1.83	4.25
5	Left	2.30	1.95	4.25
8	Right	2.20	2.05	4.25
10	Right	2.15	2.02	4.17
12	Right	2.15	1.88	4.03

Tab. 5: Vrcholové latence

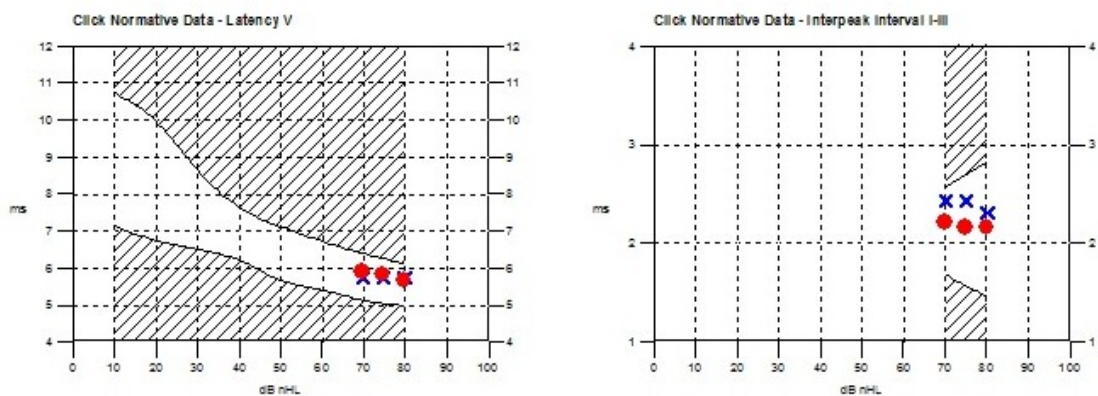
LATENCIES (ms)							
ABR							
Waveform	Ear	I	II	III	IV	V	VI
1	Left	1.48	2.73	3.90	5.18	5.73	---
3	Left	1.48	2.65	3.90	5.18	5.73	---
5	Left	1.48	2.65	3.78	5.18	5.73	---
8	Right	1.63	2.78	3.83	5.00	5.88	---
10	Right	1.63	2.78	3.78	5.00	5.80	---
12	Right	1.63	2.78	3.78	5.00	5.65	---

Na levém uchu se zaznamenávají pouze vlnové komplexy 1, 3 a 5 (žlutě označen komplex 1). Komplexy 2, 4, 6 se neuplatňují, jedná se o odezvu, která je zaznamenána z druhého ucha. Na uchu pravém se zase používají k hodnocení pouze vlnové komplexy 8, 10, 12.

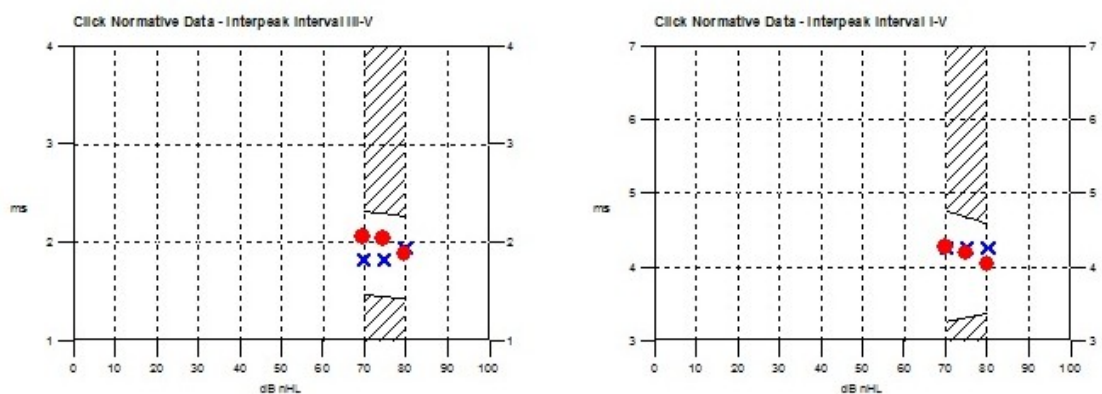
Každé vyšetření zobrazí program ISC Chartr EP i v grafické podobě jako normativní graf pro "klik". To znamená, že automaticky určí spektrum, v jakém by se měl vyskytovat sluch zdravého pacienta, a zaznačí do něj výsledné hodnoty z vyšetření. Z těchto grafických výsledků se poté dá lehce vyčíst, zda se sluchový práh pacienta nachází nebo nenachází v daném spektru. Normativní data se automaticky tvoří pro latence I., III., V. vlny a mezivrcholové intervaly vln I - III, III - V a I - V. V grafech se jednotlivá data zobrazují symbolem, který je v souladu se symbolem používaným pro stimulované ucho (x = levé ucho, ● = pravé ucho).



Obr. 29: Normativní data (latence I,III)



Obr. 30: Normativní data (latence V, mezivrcholový interval I - III)

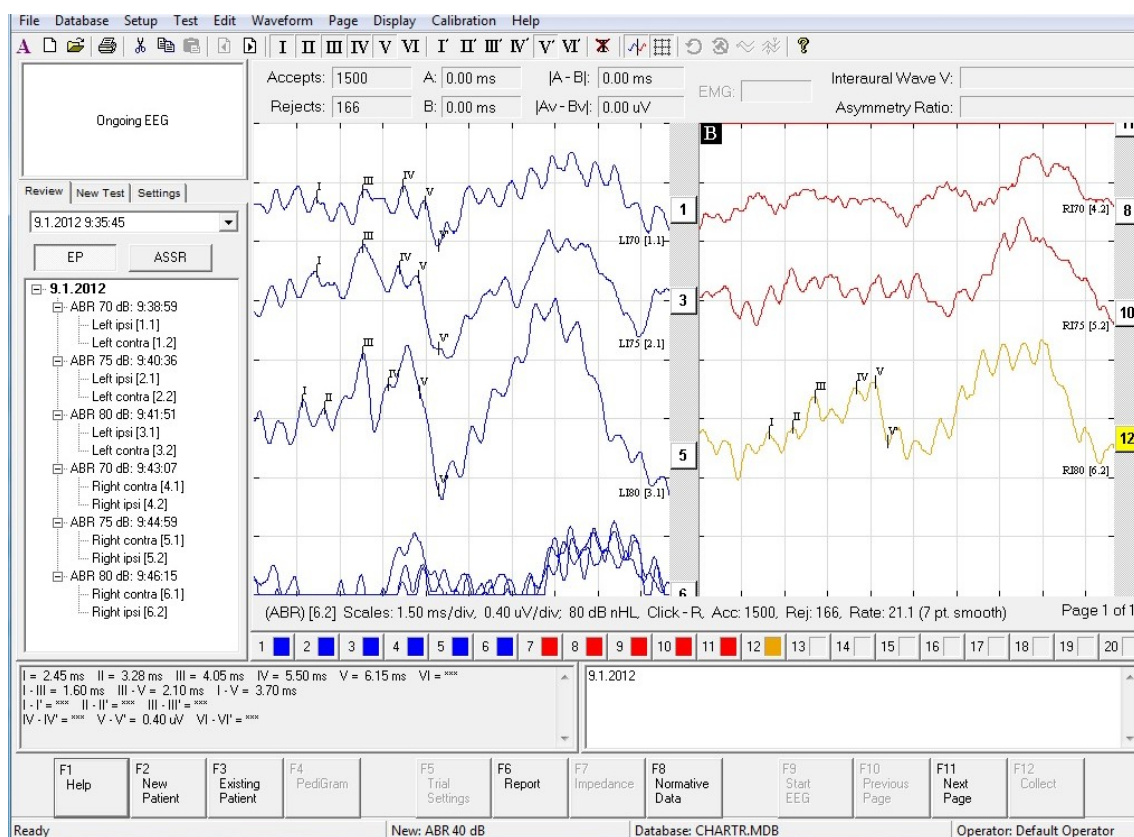


Obr. 31: Normativní data (mezivrcholové intervaly III - V, I - V)

Vyšetřením BERA se dá odhalit několik typů nedoslýchavostí. Při posunu celého vlnového komplexu k vyšším latencím se jedná o poruchu převodní. U tohoto typu

nedoslýchavosti nedochází k malformaci komplexu, mezivrcholové latence jsou fyziologické a výbavnost vln končí na sluchovém prahu. Dalším možným typem nedoslýchavosti je kochleární percepční porucha. Při vyšších intenzitách nedochází k posunu latencí jednotlivých vln, při nižších intenzitách se latence prodlužují a výrazně se zhoršuje diferencovatelnost vln. Posledním typem je percepční retrokochleární vada. Stěžejním kritériem je prodloužení mezivrcholových intervalů vln I - V. Prodloužení o 0,3 ms se obvykle hodnotí jako podezřelé z této vady, prodloužení o 0,5 ms jako vysoce podezřelé.

3.1.2.2. Vyhodnocení patologického pacienta



Obr. 32: Výsledky měření

Z výsledků pacienta (Obr. 32: Výsledky měření je vidět, že na pravém uchu pacient zachytil odpověď pouze na stimul o hladině zvuku 80 dB. Na hladině 70 a 75 dB nereagoval. Levé ucho reagovalo na podněty ve všech vyšetřovaných hladinách zvuku. Na 70 a 75 dB není dostatečně viditelná vlna II a z tabulky (Tab. 6) lze vidět, že vlna I je v prvních dvou případech mírně posunuta do vyšších latencí.

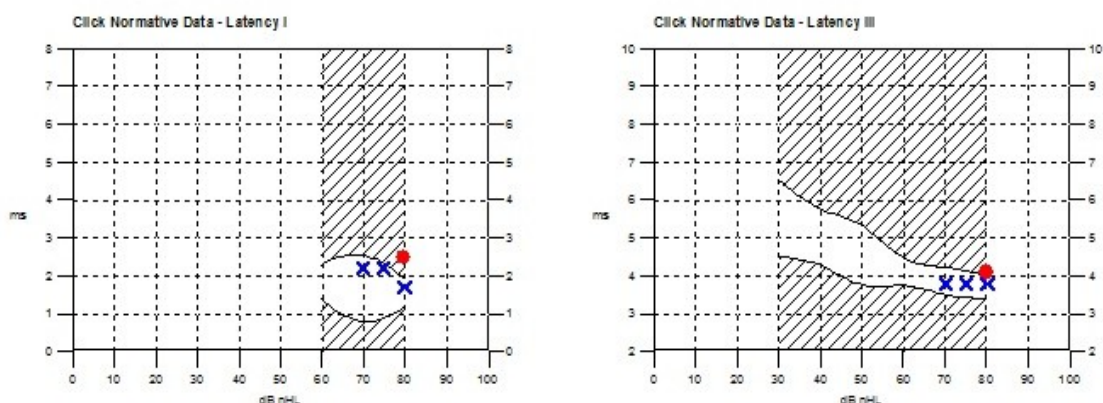
Tab. 6: Vrcholové latence

LATENCIES (ms)							
ABR							
Waveform	Ear	I	II	III	IV	V	VI
1	Left	2.18	---	3.78	5.18	5.98	---
3	Left	2.18	---	3.78	5.08	5.73	---
5	Left	1.68	2.45	3.78	4.68	5.78	---
12	Right	2.45	3.28	4.05	5.50	6.15	---

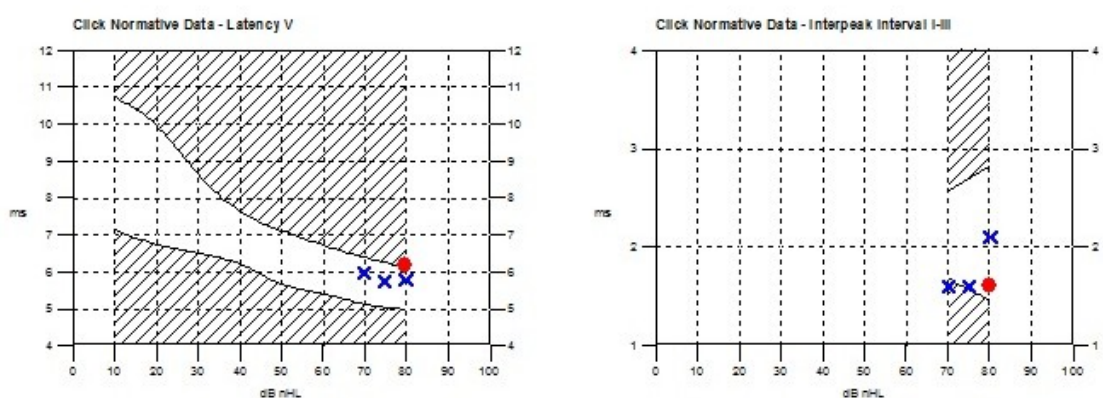
Tab. 7: Mezivrcholové intervaly

INTERPEAK INTERVALS (ms)				
ABR				
Waveform	Ear	I-III	III-V	I-V
1	Left	1.60	2.20	3.80
3	Left	1.60	1.95	3.55
5	Left	2.10	2.00	4.10
12	Right	1.60	2.10	3.70

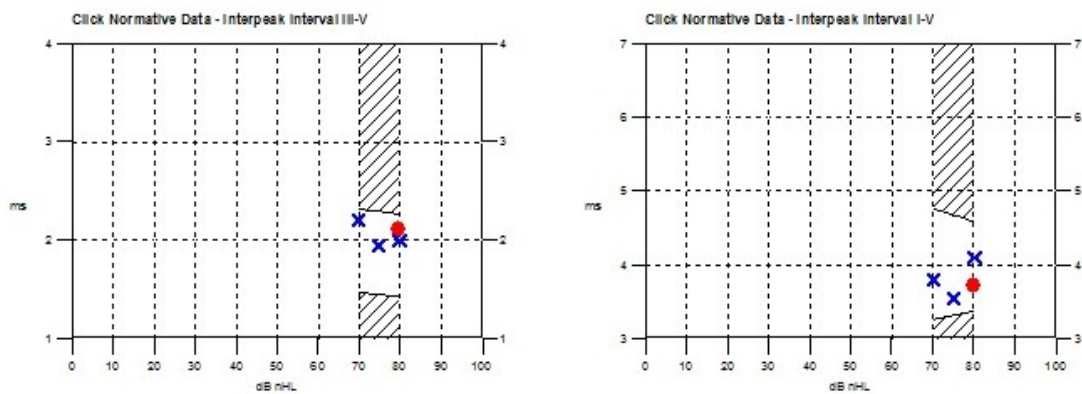
Z normativních grafů lze také stanovit patologie, neboť ne všechna data jsou soustředěna uvnitř automaticky stanoveného prahu sluchu.



Obr. 33: Normativní data (latence I, III vlny)



Obr. 34: Normativní data (latence vlny V, mezivrcholový interval vln I - III)



Obr. 35: Normativní data (mezivrcholový interval vln III - V, I - V)

4. Závěr

Brainstem Evoked Response Activity, tedy měření sluchové dráhy pomocí evokovaných sluchových potenciálů, je moderní objektivní vyšetřovací metoda sloužící k určení sluchových ztrát pacientů, zjišťování stranového rozdílu ve sluchové dráze, monitoringu při operacích a dalších vyšetřeních.

Záměrem mé bakalářské práce bylo popsat a provést měření pomocí této metody. V prvním bodě práce stručně popsat anatomii a fyziologii sluchového aparátu a objasnit, jak se zvuk šíří z vnějšího prostředí až do kůry mozkové, kde se nachází sluchové centrum. Dále jsem se zaměřil na možnosti vyšetření sluchu jak subjektivními, tak objektivními metodami.

Následoval popis přístroje, který je uveden v mé práci společně s parametry přístroje a schématem zapojení. Popsal jsem technické problémy, které se mohou vyskytovat při měření. Dále jsem se věnoval navržení správných postupů, které by se měly dodržet před a v průběhu každého vyšetření pacienta, abychom získali kvalitně naměřená data. Samotná vyšetření probíhala v ordinaci Centra pro poruchy sluchu a rovnováhy polikliniky APROMED. V této práci jsou uvedeny výsledky těchto vyšetření, na kterých jsem demonstroval zdravého i patologického pacienta.

V poslední části bakalářské práce jsem vypracoval protokol pro laboratorní vyšetření pomocí kmenových evokovaných sluchových potenciálů (BERA) tak, aby byl obecně využitelný jak pro potřeby zdravotnického personálu obsluhujícího tento přístroj, tak pro studenty seznamující se s vyšetřovací metodou objektivního vyšetření sluchu pomocí kmenových evokovaných potenciálů sluchové dráhy.

5. Seznam literatury

- [1] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2002, 655 s. ISBN 80-716-9140-2.
- [2] MRÁZKOVÁ, Eva, Jiří MRÁZEK a Marie LINDOVSKÁ. *Základy audiologie a objektivní audiometrie: medicínské a sociální aspekty sluchových vad*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006, 121 s. ISBN 80-736-8226-5.
- [3] UCHYTIL, Bořivoj. *Vyšetřovací metody a základní diagnostika v otorinolaryngologii*. 1. vyd. Praha: Triton, 2002, 254 s. Levou zadní, sv. 73. ISBN 80-725-4190-0.
- [4] LEJSKA, Mojmir. *Základy praktické audiologie a audiometrie*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1994, 171 s. ISBN 80-701-3178-0.
- [5] HYBÁŠEK, Ivan. *Ušní, nosní a krční lékařství*. 1. vyd. Praha ;: Galén, 1999, 220 s. ISBN 80-718-4949-9.
- [6] <http://jeidbioassessment.wikispaces.com/anatomy+of+the+ear+> [online]. [cit. 2012-02-27].
- [7] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ucho> [online]. [cit. 2012-02-27].
- [8] KUTÁ, S. *Evokované potenciály sluchové dráhy*. Ostrava: VŠB-TUO. Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2008, 59s. Vedoucí práce Ing. Jitka Mohylová PhD.
- [9] <http://www.audionika.cz/page/get/o-sluchu-a-sluchovych-vadach> [online]. [cit. 2012-02-27].
- [10] NETTER, Frank H. *Anatomický atlas člověka*. 1. vyd. Překlad Libor Páč, Petr Dubový. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0517-6.
- [11] EP Operator Manual
- [12] <http://www.drtbalu.co.in/bera.html> [online]. [cit. 2012-04-09].
- [13] <http://emedicine.medscape.com/article/836277-overview> [online]. [cit. 2012-04-09].
- [14] <http://www.courses.audiospeech.ubc.ca/haplab/aep.htm> [online.] [cit. 2012-03-17].

- [15] SYKA, J., L. VOLDŘICH, L. a F. VRABEC. *Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu*. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1981. 324 s.
- [16] SOHMER, H., M. FEINMESSER. *Cochlear action potentials recorded from the external ear in man*. Ann. Otol. Rhinol. Lar., 1967, 76: 427 - 435
- [17] JEWETT DL, WILLISTON JS. *Auditory-evoked far fields averaged from the scalp of humans*. Brain. 1971, 94(4):681–696
- [18] http://www.interacoustics.co.uk/com-uk_en/Pages/Product/Abr/EvokedPotentials.htm?prodid=61391[online.] [cit. 2012-03-17].
- [19] http://www.otometrics.com/balance-assessment/Evoked_Potential/ICS_Chart_EP200_ASSR.aspx [online.] [cit. 2012-03-17].

6. Přílohy

Příloha č. 1: Laboratorní úloha měření BERA

1 Laboratorní úloha měření BERA

1.1 Cíl úlohy

Prostřednictvím této laboratorní úlohy se naučíte:

- pracovat s pacientem, připravit pacienta na vyšetření (odmaštění kůže, nalepení elektrod, nasazení sluchátek)
- orientovat se a používat základní nezbytné úkony s vyšetřovacím programem ISC Chartr EP
- naměřit test - Test do 80 dB

1.2 Předpokládané znalosti

Pro tuto úlohu se vyžaduje nastudování:

- základy anatomie a fyziologie sluchu (jak se zvuk šíří z vnějšího prostředí až do sluchového centra v mozku)
- HOCHMAN, V. *Laboratorní úloha měření BERA*. Ostrava: VŠB-TUO. Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2012, Vedoucí práce doc. RNDr. Jindřich Černohorský, CSc.
- MRÁZKOVÁ, Eva, Jiří MRÁZEK a Marie LINDOVSKÁ. *Základy audiologie a objektivní audiometrie: medicínské a sociální aspekty sluchových vad*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006, 121 s. ISBN 80-736-8226-5.

(Kapitola 2. - Základy fyziologické akustiky, kapitola 3. - Vyšetření sluchu)

- zaměřte svou pozornost na téma 3.2.2 - BERA

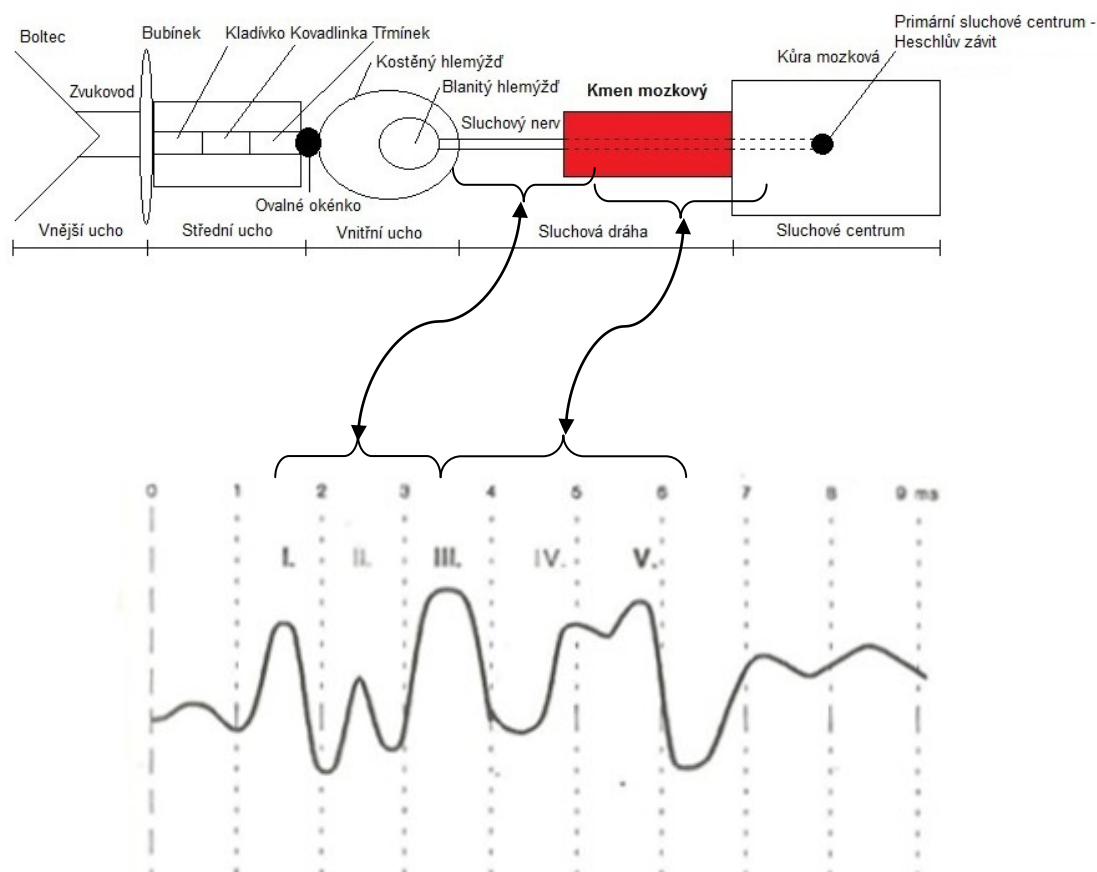
1.3 Použité vybavení

- PC
- napájecí kabel (+ adaptér)
- přístroj EP CHARTR EP 200
- předzesilovač s kabelovým připojením
- izolační transformátor
- kabel USB
- software ISC Chartr EP
- elektrody (+ nalepovací elektrody, 5 ks)
- sluchátka
- přípravky k odmaštění kůže (abrazivní gel, papírové ubrousky)

1.4 Teoretický rozbor

BERA (Brainstem Evoked Response Activity), jinak též **ABR** nebo **BAEP** (Brainstem Auditory Evoked Potential), je metoda vyšetření evokovaných sluchových potenciálů, přesněji kmenových evokovaných potenciálů. Jedná se o objektivní vyšetřovací metodu.

V roce 1971 Jewett a Williston popsali ABR a interpretovali původ jednotlivých vln (Obrázek 1). Zjistili, že vlny I, II vznikají v oblasti sluchového nervu až kochleárních jader a vlny III - V v oblasti mozkového kmene.



Obrázek 1: Výskyt jednotlivých vln ve schématu sluchového ústrojí: I, II - oblasti kochleárních jader a sluchového nervu, III, IV, V - oblast mozkového kmene

Princip vyšetření je takový, že do uší pacienta jsou pomocí sluchátek použity stimuly, které vyvolávají podráždění (evokovaný potenciál), a to snímají z povrchu hlavy elektrody.

Stimuly můžeme rozlišit na kliky a tóny. Kliky jsou velmi krátké impulzy, délka trvání jednoho impulzu je 50 μ s - 1 ms, nejčastěji 100 μ s. Z tónů se využívají k vyšetření tzv. tone bursty ("prásky"), jejichž délka přesahuje 1 ms a jejichž frekvence se pohybuje mezi 2 - 4 kHz. U tónů je možné nastavit tvar jednotlivých impulzů na obdélníkový, sinusový, pilovitý a na impuls s náběžnou a sestupnou hranou. U posledního jmenovaného stimulu lze nastavit časové délky náběžné, sestupné hrany a také délku plató. Intenzity obou stimulů se dají nastavovat od 0 dB do 132 dB SPL. Také lze nastavit polaritu. Kondenzační (condensation) polarita, při které je membrána oválného okénka jako kdyby zatlačována a signál má kladnou amplitudu, rarefakční (rarefaction) polarita, při které je membrána jakoby vytahována a signál má zápornou

amplitudu, a střídavá (alternating) polarita, při které je membrána zatlačována a vytahována, střídá signály kladné i záporné amplitudy.

Vzniklé odpovědi (evokované potenciály) na tyto stimuly mají velmi malou amplitudu (řádově nV), proto je zapotřebí snímat 1000 - 4000 odpovědí. Opakuje-li se stimulace, pak je odpověď evokovaných potenciálů stále stejná a zřetelnější díky tomu, že ostatní nahodilé signály (EEG, EKG,...) se díky malému počtu pravděpodobností průměrování jakoby mažou. Proto čím častěji se stimulace opakuje, tím je výsledná křivka spolehlivější. Měření probíhá nejdříve na levém uchu na hladinách 70 dB, 75 dB a 80 dB, poté se automaticky přepne na ucho druhé a proběhne stejné měření.

1.5 Pracovní postup

1. Propojte PC pomocí USB kabelu s přístrojem ICS Chartr EP 200 - USB kabel zasuňte na pozici 4 (Obrázek 2).
2. Zapojte předzesilovač k přístroji - pozice 2 (Obrázek 2).
3. Připojte napájecí adaptér k přístroji - pozice 8 (Obrázek 2). Adaptér zapojte do elektrické sítě přes izolační transformátor (IT). IT je zařízení nebo systém, který zajišťuje souvislou dodávku elektřiny pro zařízení, která nesmějí být neočekávaně vypnuta.



Obrázek 2: Zadní panel ICS Chartr EP 200

- V tabulce (Tab. 8) najdete ke každému číslu na obrázku (Obrázek 2) příslušnou funkci.

Tab. 8: Zadní panel ISC Chartr EP 200

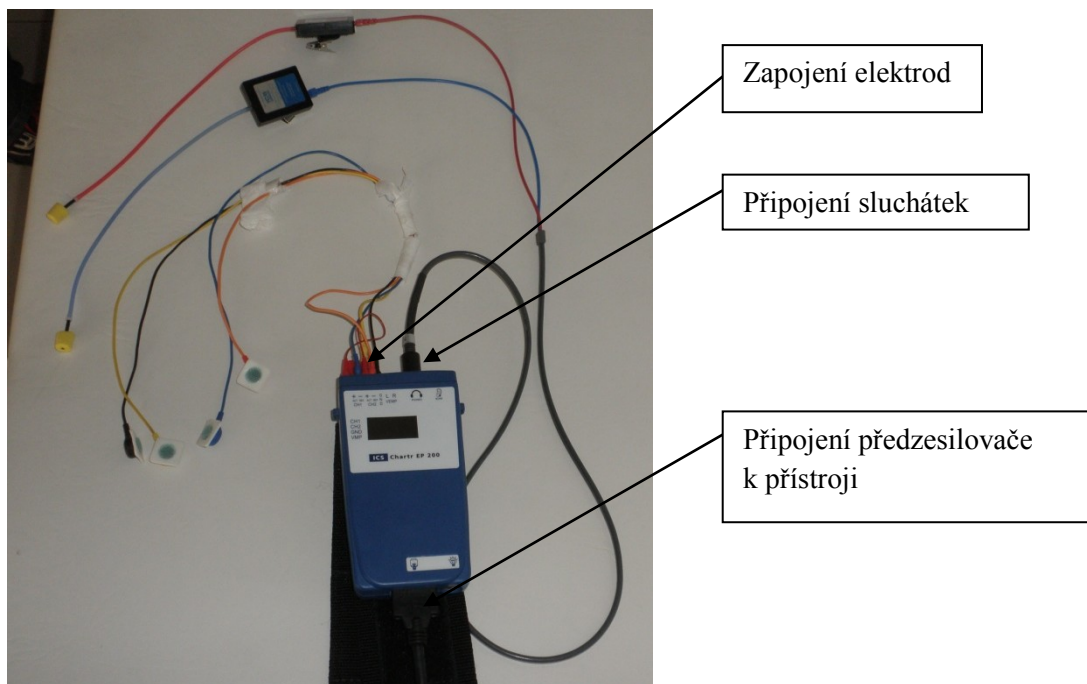
Zadní panel ICS CHARTR EP 200	
Pořadí	Funkce
1.	VEMP monitor
2.	Předzesilovač
3.	USB
4.	PC (notebook)
5.	USB
6.	Externí spouštěč
7.	Pojistka napájení
8.	Napájení (adaptér)

4. Dále připojte k předzesilovači elektrody podle barevného označení (černá, žlutá, bílá, červená a modrá) na předzesilovači.



Obrázek 3: Zapojení elektrod a sluchátek

5. Zapojte do předzesilovače sluchátka. (klasická nasazovací sluchátka nebo sluchátka s pěnovými ušními koncovkami)
- Takto by mělo vypadat výsledné zapojení předzesilovače před zahájením vyšetřování(Obrázek 4).



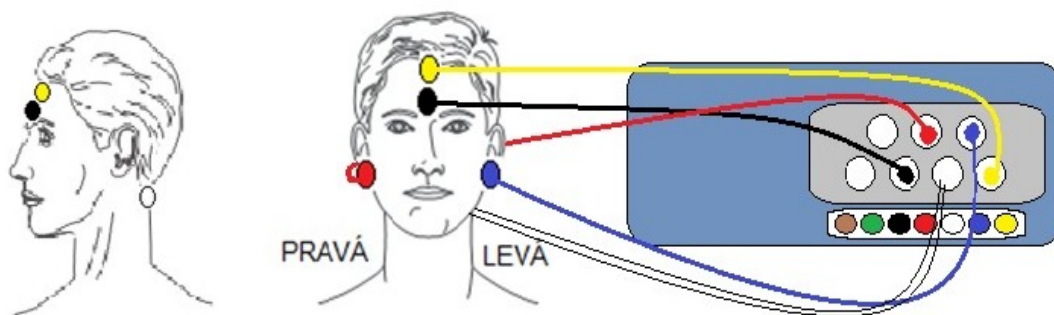
Obrázek 4: Výsledné zapojení předzesilovače

6. Zajistěte, aby se vyšetřovaná osoba pohodlně usadila nebo položila tak, aby celé vyšetření byla v klidu.
7. Odmastěte kůži předem připravenými přípravky. Tak docílíte co nejmenšího kožního odporu a elektrody se budou snáze přilepovat na pokožku. To, že je kůže dobře připravená (očistěná), zjistíme tak, že je její povrch díky tření lehce načervenalý. K odmaštění kůže použijte abrazivní gel a ubrousky (Obrázek 5).



Obrázek 5: Abrazivní gel pro snížení kožní impedance

8. Je-li kůže odmaštěna, přilepte na ni nalepovací elektrody podle obrázku (Obrázek 6).



Obrázek 6: Zapojení elektrod na kůži a do předzesilovače

- Červenou elektrodu přilepte na pravý bradavkový výběžek (*processus mastoideus*) a modrou na levý.
 - Bílou elektrodu připevněte pacientovi na zátylek.
 - Žlutou elektrodu nalepte do horní části čela, černou pod žlutou.
9. Opatrně zaveďte insertní sluchátka do zvukovodu (červené do pravého ucha, modré do levého ucha) nebo nasad'te klasická sluchátka.
- Jejich pěnová koncovka vyplní a utěsní zvukovod, aby docházelo k dokonalé stimulaci.

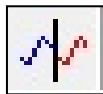


10. Spust'te program ISC Chartr EP
11. Pomocí klávesové zkratky F2 (New Patient) vložte nového pacienta. Otevře se okno (Obrázek 7). Zde vyplňte vyžadované informace (jméno, příjmení, datum narození, pohlaví). Pokračujte stisknutím OK.

Obrázek 7: Vkládání nového pacienta

- Je-li pacient uložen v registru, můžete si lehce nalézt jeho výsledky stisknutím klávesové zkratky F3 (Existing Patient), kde ho pomocí jména naleznete. Poté můžete

procházet dřívější výsledky, upravovat data nebo volit nové vyšetření.



12. Pomocí tohoto tlačítka na liště si rozdělíte pracovní plochu na levou a pravou část.
13. Klávesovou zkratkou F7 (Impedance) spustíte kontrolu impedance (Obrázek 8). Přístroj automaticky provede kontrolu impedancí. Všechny hodnoty by měly dosahovat impedance do 5 k Ω s méně než 2 k Ω rozdíly mezi elektrodami. Jelikož nepřipojíte VEMP monitor, zobrazí se vám na pozici VEMP Monitor Left, Right Open, což znamená, že monitor není připojen. Je-li impedance v pořádku, pokračujte stisknutím OK.

	Active	Reference
Channel 1:	1.0 K Ohm	1.9 K Ohm
Channel 2:	1.0 K Ohm	2.0 K Ohm
Ground:	2.9 K Ohm	

VEMP Monitor	
Left:	2.0 K Ohm
Right:	2.0 K Ohm

OK

Obrázek 8: Kontrola impedance (nízká impedance)

Nevyhovuje-li impedance předepsaným hodnotám (Obrázek 9), odlepte pacientovi elektrody, znovu odmastěte pokožku, poté nalepte nové elektrody a opět spustíte test kontroly impedance pomocí klávesové zkratky F7. Je-li vše v pořádku, pokračujte stisknutím OK.

Electrode Impedances

	Active	Reference
Channel 1:	15.0 K Ohm	9.3 K Ohm
Channel 2:	15.0 K Ohm	16.2 K Ohm
Ground:	6.1 K Ohm	

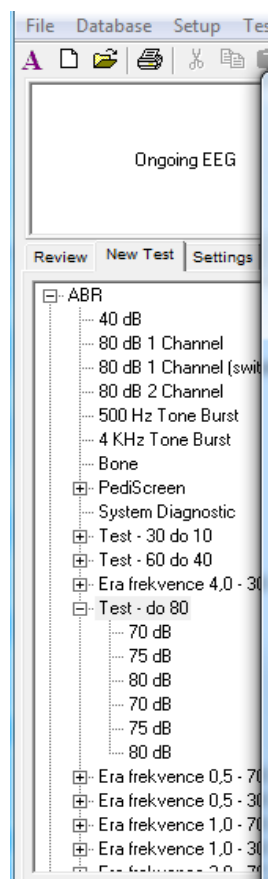
VEMP Monitor

Left:	Open
Right:	Open

OK

Obrázek 9: Kontrola impedance (vysoká impedance)

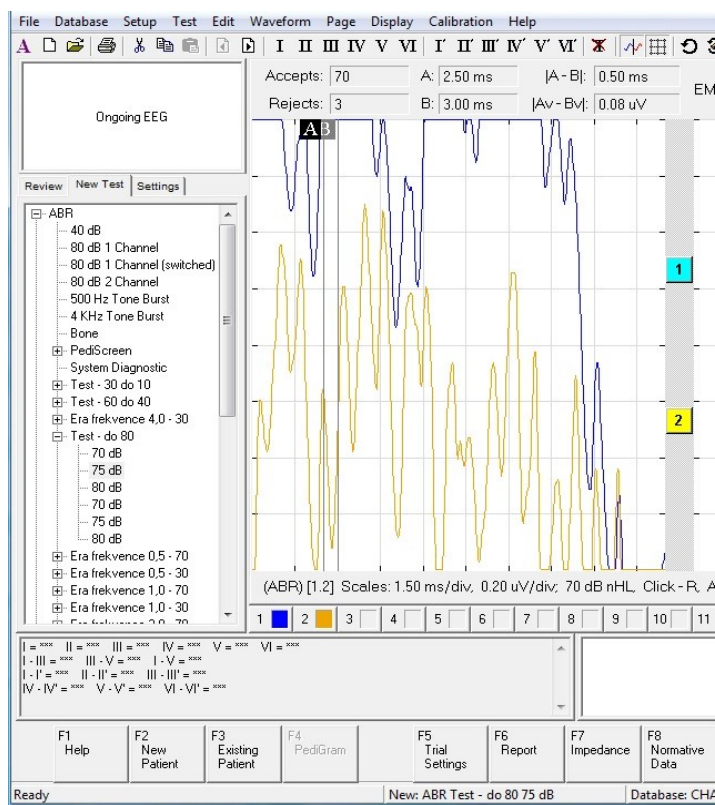
14. Otevřete záložku New Test v levé části okna programu pod oknem Ongoing EEG a vyberte: Test - do 80 (Obrázek 10).



Obrázek 10: Testo - do 80

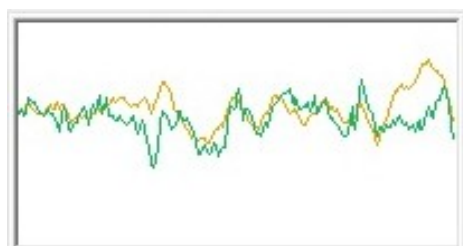
15. Nyní spusťte měření pomocí F12 (Collect) a přístroj začne shromažďovat data.

- Takto vypadá okno programu po spuštění sběru dat (Collect) (Obrázek 11)



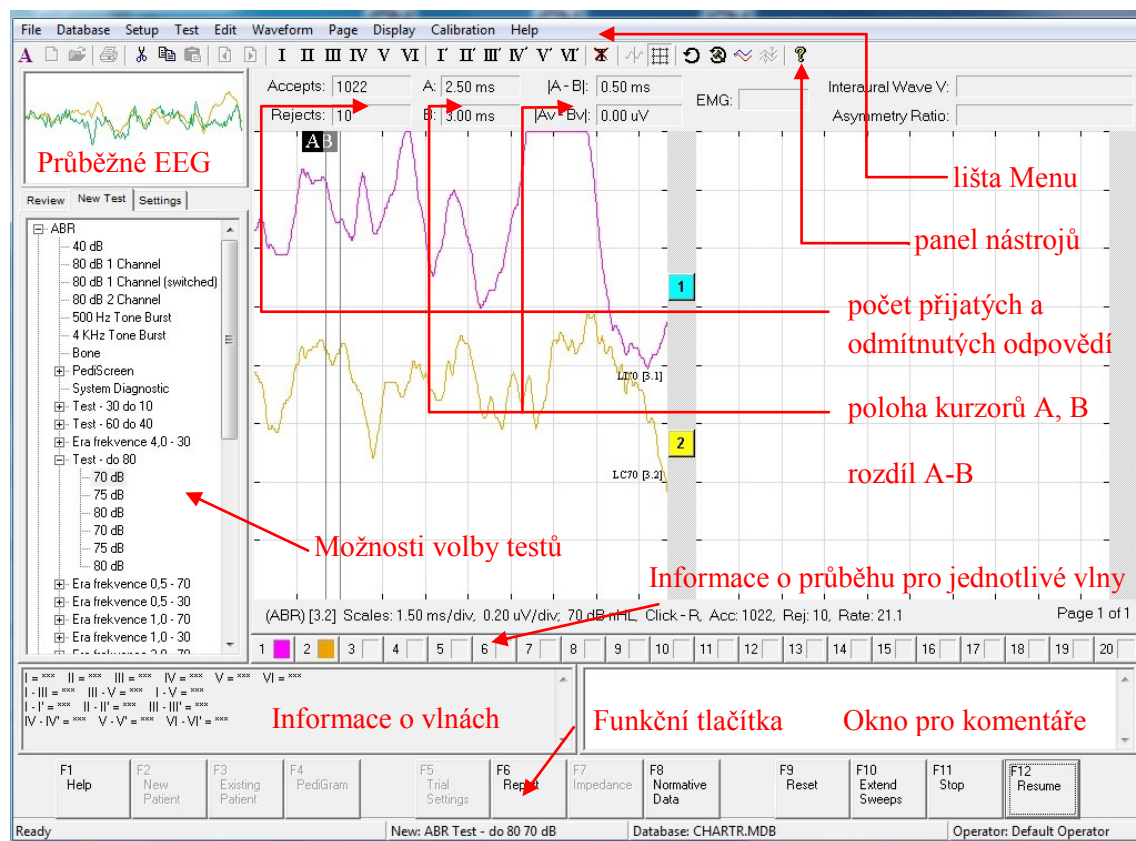
Obrázek 11: Spuštění sběru dat

- Přístroj shromažďuje přijaté odpovědi nejprve na levém uchu, postupně na hladinách 70 dB, 75 dB a 80 dB, poté automaticky začne shromažďovat data ve stejném pořadí na pravém uchu.
- Po spuštění testu se v okně Ongoing EEG začnou zobrazovat aktuální průběžné křivky EEG, které slouží pro kontrolu. Neměly by se rozbíhat a neměly by mít velkou amplitudu. Měly by vypadat podobně jako na (Obrázek 12).



Obrázek 12: Ongoing EEG

1.6 Popis pracovního okna programu Chartr EP



Obrázek 13: Pracovní okno programu Chartr EP